

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - UFG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA DO
MEIO AMBIENTE – PPGEMA

GIOVANA CARLA ELIAS FLEURY

INATIVAÇÃO BACTERIANA DA ÁGUA POR MEIO DA DESINFECÇÃO SOLAR

GOIÂNIA-GO

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GIOVANA CARLA ELIAS FLEURY

INATIVAÇÃO BACTERIANA DA ÁGUA POR MEIO DA DESINFECÇÃO SOLAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás (UFG), para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof^a. Dr^a Luiza Cintra Campos

Co-Orientadores: Prof^a. Dr^a. Mariângela Fontes Santiago e Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa

GOIÂNIA

2006

GIOVANA CARLA ELIAS FLEURY

INATIVAÇÃO BACTERIANA DA ÁGUA POR MEIO DA DESINFECÇÃO SOLAR

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em _____ de _____ de _____, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof^a. Dr^a. Mariângela Fontes Santiago - UFG
Presidente da Banca

Prof^a. Dr^a. Cristina Célia Silveira Brandão – UnB

Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira – UFG

GOIÂNIA

2006

À minha mãe, Carmelinda Gonçalves Lopes (in memoriam), mulher forte, simples, humana e exemplo de vida. Como símbolo do meu eterno amor e gratidão, eu dedico este trabalho a mulher mais digna que conheci.

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo, Augusto Fleury Veloso da Siveira, por sua compreensão às minhas incontáveis ausências, por seu companherismo, por seus sábios conselhos e por seu amor.

Ao meu pai, minha irmã, meu irmão, minha cunhada e meu sobrinho, pelo apoio e carinho.

À minha orientadora, Prof^a. Luiza Cintra Campos, por sua sabedoria e por seu exemplo de determinação e amor ao trabalho.

À Prof^a. Mariângela Fontes Santiago por sua paciência em seus ensinamentos diários.

À Prof^a. Ina pelas análises desenvolvidas.

Ao Paulo por estar sempre pronto a ajudar.

À Waleska pela colaboração no trabalho experimental.

Ao Antônio Dos Reis pela ajuda indispensável na coleta da água de estudo.

À Universidade Federal de Goiás - UFG, em especial ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA e a Faculdade de Farmácia, pelo oportunidade de aperfeiçoamento e apoio aos estudos.

À Universidade Estadual de Goiás - UEG pelas horas de serviço dispensadas, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade de Brasília - UnB pelo apoio técnico.

Ao INMET e SISMEGO pelos dados fornecidos de radiação solar total.

*“Somos o que repetidamente fazemos.
A excelência não é um feito,
é um hábito.”
Aristóteles*

RESUMO

A desinfecção solar (SODIS) é um método simples de tratamento de água potável onde a água é exposta à radiação solar por um determinado período de tempo para inativar microrganismos patogênicos. Este método é apropriado para o uso em pequenas comunidades localizadas em regiões ensolaradas e é considerado especialmente adequado para residências de baixa renda, pois ele é um método de desinfecção muito barato quando comparado com o tratamento convencional. Este trabalho apresenta uma investigação da SODIS com o propósito principal de determinar a efetividade da inativação bacteriana, com base no decaimento da *Escherichia coli*. Água bruta foi coletada de um poço localizado em uma área urbana da cidade de Goiânia, Brasil, e as amostras foram contaminadas com alta concentração de *Escherichia coli*. Amostras de água foram acondicionadas em garrafas PET transparentes e expostas ao sol por um período de 6 horas (das 9:00 às 15:00 horas). Algumas garrafas foram pintadas de preto para investigar o efeito da temperatura sem a incidência de radiação solar e outras garrafas transparentes foram usadas em combinação com concentrador solar feito de madeira coberta com alumínio. Amostras de água foram coletadas após tempos de exposição pré-determinados (0, 1, 2, 3, 4, 6 horas) e foram feitas análises físico-químicas e bacteriológicas. Para a contagem das bactérias foi utilizado o método *Colilert*, e o modelo computacional UVGAME, usado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), foi usado para calcular a radiação UV-A. Os resultados mostraram que o uso do concentrador solar reduziu o tempo de inativação da *Escherichia coli* na faixa de duas a quatro horas. Para os dias ensolarados e sem nuvens, as amostras de água das garrafas transparentes com concentrador solar, expostas à intensidade média de radiação de 246,5 Wh/m² (320 - 400 nm) e uma temperatura média de 44 °C, foram inativadas até 8-Log depois de 4 horas de exposição. Sem o concentrador solar a inativação foi cerca de 7-Log para o mesmo período de exposição e uma temperatura média de 40,9 °C, para o mesmo nível de radiação solar. Os melhores resultados de inativação foram observados nos dias de céu claro, porém a SODIS mostrou ser efetiva para inativar bactérias da água em dias de céu encoberto e nublado.

ABSTRACT

Solar disinfection (SODIS) is a simple method for drinking water treatment where the water is exposed to solar radiation for a specified period of time to inactivate pathogenic microorganisms. This method is appropriate for small communities located in sunny regions and is considered to be especially suitable for low-income households as it is a very cheap method of disinfection compared with the conventional treatment. This paper presents an investigation of SODIS with the main aim to determine the effectiveness of bacterial inactivation based on the decay of *Escherichia coli*. Raw water was collected from a well located in an urban area of Goiânia, Brazil, and the samples were contaminated with high concentration of *Escherichia coli*. The water samples were put into transparent Polyethylene terephthalate (PET) bottles and exposed under sunlight for a period of 6 hours (from 9am to 3pm). Some bottles were painted black in order to investigate the effect of temperature without sunlight and other transparent bottles were used in combination with solar concentrators made from wood covered in aluminum. Water samples were collected at pre-determined exposure times (0, 1, 2, 3, 4, 6 hours) and physico-chemical and bacteriological analyses were made. For the bacterial counts, the Colilert method was used and the UVGAME computer model used by the Brazilian National Institute of Spatial Research (INPE) was used to calculate the UV-A radiation. The results showed that the use of the solar concentrator reduced the inactivation time for the of the *Escherichia coli* by about two or four hours. For sunny days without clouds, the water samples in the transparent bottles, using a solar concentrator and exposed under a radiation mean value of 246.5 Wh/m² (320 – 400 nm) and a mean value of 44 degrees centigrades for the temperature, were inactivated until 8-Log after 4 hours of exposure. Without the solar concentrator the inactivation was about 7-Log for the same exposure period and a mean value of 40,9 degrees centigrades for the temperature, under the same level of solar radiation. The best inactivation results were observed during days with blue clear sky, but SODIS was also shown to be effective for the inactivation of *Escherichia coli* even during cloudy days.

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Resistência de microrganismos à R-UVA.....	32
Quadro 2.2	Inativação através da luz artificial dos colifagos f2 (bacteriófago), vírus <i>encephalomyocarditis</i> - EMCV e do rotavírus. O tempo e a fluência requerida para redução de 99,9% dos microrganismos sob diferentes temperaturas são demonstrados (SODIS, 2006a). Inativação através da luz artificial dos colifagos f2, vírus EMCV e do rotavírus.....	34
Quadro 3.1	Dimensões do concentrador solar.....	51
Quadro 3.2	Condições e número de amostras da água de estudo.....	53
Quadro 3.3	Características das amostras da água de estudo selecionadas para identificação dos microrganismos resistentes a SODIS.....	60
Quadro 4.1	Classificação dos dias do experimento, de acordo com as condições de nebulosidade do céu.....	63
Quadro 4.2	Temperatura (°C) mínima, máxima e média da água exposta a radiação solar sob condições de nebulosidade variadas.....	65
Quadro 4.3	Inativação média da <i>E. coli</i> e coliformes totais e tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar, nas diferentes condições de nebulosidade.....	81
Quadro 4.4	Concentração inicial e final da <i>E. coli</i> e coliformes totais nas amostras e sua caracterização por meio do método de coloração.....	84
Quadro 4.5	Microrganismos identificados nas amostras de água após a Desinfecção Solar.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Espectro (a) da radiação solar não ionizante e (b) da radiação ultravioleta demonstrando as bandas da radiação, sua nomenclatura, e limites aproximados do comprimento de onda.....	29
Figura 2.2	Concentrador solar proposto pelo IMTA: a) fotos e b) desenho com medidas em cm.....	42
Figura 2.3	Garrafa PET com a metade de um lado pintado de preto exposta a radiação solar.....	44
Figura 3.1	Modelo da garrafa PET utilizada no experimento: a) transparente e b) preta.....	50
Figura 3.2	Concentrador solar: a) fotos e b) desenho com medidas em cm.....	51
Figura 3.3	Suporte para as garrafas PET e para o concentrador solar: a) foto e b) desenho com medidas em cm.....	52
Figura 4.1	Transmitância da radiação ultravioleta e visível através do politereftalato (PET) transparente, verde e do vidro transparente.....	64
Figura 4.2	Variação da temperatura da água em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimento do dia 03 de julho. Céu encoberto.....	66
Figura 4.3	Variação da temperatura da água em função do tempo de exposição nas garrafas pretas e nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento do dia 17 de abril. Céu encoberto.....	66
Figura 4.4	Comportamento da temperatura média da água para as garrafas transparentes sem e com concentrador solar no tempo de exposição.....	67
Figura 4.5	Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes em função do tempo de exposição, para dias de céu encoberto, nublado, parcialmente nublado e claro.....	68
Figura 4.6	Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes com concentrador solar em função do tempo de exposição, para dias de céu encoberto, nublado, parcialmente nublado e claro.....	68
Figura 4.7	Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu encoberto e nublado.....	69

Figura 4.8	Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu claro e parcialmente nublado.....	69
Figura 4.9	Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes com concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu claro e parcialmente nublado.....	69
Figura 4.10	Temperatura mensal média, máxima e mínima do ar no período de janeiro a agosto de 2006.....	70
Figura 4.11	Temperatura mensal média, máxima e mínima do ar no ano de 2005.....	70
Figura 4.12	Temperatura média, máxima e mínima do ar nos dias dos experimentos.....	71
Figura 4.13	Comportamento da temperatura média horária do ar durante os experimentos, para as diferentes condições de nebulosidade.....	71
Figura 4.14	Comportamento da temperatura média horária da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar e do ar, durante os experimentos, para as diferentes condições de nebulosidade.....	72
Figura 4.15	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 17-abr., 15-mar. e 03-jul. Céu encoberto. $No_{médio} = 1,5 \times 10^8$ NMP/100mL.....	73
Figura 4.16	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 22-mar., 27-mar. e 01-maio. Céu nublado. $No_{médio} = 1,8 \times 10^7$ NMP/100mL.....	73
Figura 4.17	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 11-abr., 08-15-23-maio, 12-19-26-jun., 17-jul. Céu parcialmente nublado. $No_{médio} = 6,8 \times 10^7$ NMP/100mL.....	74
Figura 4.18	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul, com céu claro. $No_{médio} = 1,7 \times 10^8$ NMP/100mL.....	74
Figura 4.19	Eficiência da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento do dia 03-jul. Céu encoberto. $No_{médio} = 4,3 \times 10^8$ NMP/100mL.....	76

Figura 4.20	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com o concentrador solar. Experimento dos dias 12-jun., 19-jun., 26-jun. e 17-jul. Céu parcialmente nublado. $No_{médio} = 1,2 \times 10^8$ NMP/100mL.....	76
Figura 4.21	Valores médios da eficiência da inativação da <i>E. coli</i> e da intensidade da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $No_{médio} = 1,7 \times 10^8$ NMP/100mL.....	77
Figura 4.22	Valores médios da eficiência da inativação dos coliformes totais e da intensidade da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $No_{médio} = 3,3 \times 10^8$ NMP/100mL.....	77
Figura 4.23	Valores médios da eficiência da inativação da <i>E. coli</i> e da intensidade de R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento dos dias 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $No_{médio} = 2,3 \times 10^8$ NMP/100mL.....	78
Figura 4.24	Valores médios da eficiência da inativação dos coliformes totais e da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento dos dias 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $No_{médio} = 4,0 \times 10^8$ NMP/100mL.....	78
Figura 4.25	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimento do dia 03-jul. Céu encoberto. $No_{médio} = 4,3 \times 10^8$ NMP/100mL.....	79
Figura 4.26	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimentos dos dias 12-19-26-jun. e 17-jul. Céu parcialmente nublado. $No_{médio} = 1,2 \times 10^8$ NMP/100mL.....	79
Figura 4.27	Eficiência média da inativação da <i>E. coli</i> em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimentos dos dias 29-maio, 05-jun., 10-jul. Céu claro. $No_{médio} = 2,3 \times 10^8$ NMP/100mL.....	79
Figura 4.28	Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m ²) para os dias de experimento com céu encoberto.....	81
Figura 4.29	Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m ²) para os dias de experimento com céu nublado.....	82

Figura 4.30	Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m ²) para os dias de experimento com céu parcialmente nublado.....	82
Figura 4.31	Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m ²) para os dias do experimento com céu claro.....	82
Figura 4.32	Valores diários médios da intensidade da Radiação solar total (Wh/m ²) para os meses do ano de 2004.....	83
Figura 4.33	Valores diários médios da intensidade da Radiação solar total (Wh/m ²) para os meses do ano de 2005.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ATCC	American Type Culture Collection
CEPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DF	Distrito Federal
EAWAG	Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
EMCV	Encephalomyocarditis vírus
G	Garrafas
GC	Garrafas de Controle
GP	Garrafas Pretas
GT	Garrafas Transparentes
GTCc	Garrafas Transparentes combinadas com Concentrador Solar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnologia da Água
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
INRESA	Integrated Rural Energy Systems Association
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana de Saúde
PBS	Phosphate Buffered Saline
PET	Politereftalato de Etileno
PVC	Policloreto de Vinila
RUV	Radiação Ultravioleta
SANDEC	Department of Water and Sanitation in Developing Countries
SISMEGO	Sistema de Meteorologia de Goiás
SODIS	Solar Disinfection
TSA	Tryptic Soy Agar
TSB	Tryptic Soy Broth
UFG	Universidade Federal de Goiás
UnB	Universidade de Brasília
UVGAME	Ultraviolet Global Atmospheric Model

VC Violeta Genciana Cristal
WHO World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

W	Watts
h	Hora
m	Metro
°C	Graus Celcius
nm	nanômetros
Cl	Cloro
Na	Sódio
O	Oxigênio
Ca	Cálcio
K	Potássio
Mn	Manganês
H	Hidrogênio
Fe	Ferro
C	Carbono
D	Dose de radiação ultravioleta
I	Intensidade da Radiação
t	Tempo de exposição
N	Norte
S	Sul
W	Oeste
kJ	Quilo Joule
Log	Logaritmo
UT	Unidade de Turbidez
J	Joule
cm	Centímetro
mm	Milímetro
<	Menor
>	Maior
%	Porcentagem
L	Litros
mL	Mililitros
C1	Concentração de bactérias encontradas na solução estoque

C2	Concentração desejada de bactérias
V1	Volume da solução estoque
V2	Volume da água de estudo
M	Molar
g	Gramma
P	Fósforo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	Objetivos.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Desinfecção da Água.....	22
2.2	Métodos de Desinfecção da Água.....	23
2.2.1	Cloração.....	24
2.2.2	Ozonização.....	25
2.2.3	Radiação Ultravioleta.....	26
2.2.4	Radiação Solar.....	27
2.3	Desinfecção Solar.....	28
2.3.1	Energia Solar.....	28
2.3.2	Comprimento de Onda da Radiação Solar.....	30
2.3.3	Radiação Ultravioleta – Medição e Cálculo.....	32
2.3.4	A Importância da Temperatura da Água e da Radiação Solar na Inativação de Microorganismos.....	33
2.3.5	Influência das Impurezas no Processo de Desinfecção da Água.....	35
2.3.6	Recipientes para Acondicionar a Água Durante a Desinfecção Solar.....	36
2.3.7	Transmitância da Radiação Solar nos Recipientes.....	38
2.3.8	Transmitância da Radiação Solar na Água.....	40
2.3.9	Otimização do Processo de Desinfecção da Água.....	40
2.3.10	Aplicação em Campo da SODIS e Recomendações para sua Implementação.....	44
2.4	Microorganismos Indicadores da Qualidade da Água.....	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1	Estrutura de Desenvolvimento do Experimento e Caracterização Local.....	49
3.2	Materiais Utilizados no Experimento.....	50
3.3	Número das Amostras da Água de Estudo.....	52
3.4	Exames Físico-Químicos da Água e Registro das Condições de Nebulosidade do Céu.....	52
3.5	Preparação da Água de Estudo.....	53
3.5.1	Adição da <i>E. Coli</i> na Água de Estudo.....	54
3.5.2	Determinação da Concentração de Coliformes Totais e <i>E. Coli</i>	54
3.5.3	Métodos Analíticos.....	55

3.5.3.1	Cultura da <i>E. Coli</i>	55
3.5.3.1.1	Cultura Estoque Congelada da <i>E. Coli</i>	55
3.5.3.1.2	Cultura Estoque Líquida.....	56
3.5.3.1.3	Quantificação da <i>E. Coli</i> na Cultura Estoque Líquida – Método do Pour Plate.....	56
3.5.3.2	Preparação dos Meios de Cultura e das Soluções.....	57
3.5.3.2.1	1Meio de Cultura Líquido – TSB.....	57
3.5.3.2.2	Meio de Cultura Sólido – TSA.....	57
3.5.3.2.3	Solução de PBS.....	58
3.6	Esterilização das Garrafas PET.....	58
3.7	Rotina do Dia do Experimento.....	59
3.8	Cálculo e Medição da Radiação Solar.....	59
3.9	Transmitância da Radiação Ultravioleta nas Garrafas PET e no Vidro.....	60
3.10	Identificação dos Microrganismos Resistentes a SODIS nas Amostras da Água de Estudo.....	60
3.11	Análise do Fitoplâncton na Água de Estudo.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1	Análise do Fitoplâncton.....	64
4.2	Transmitância da Radiação através das Garrafas PET e do Vidro.....	64
4.3	Comportamento da Temperatura da Água de Estudo.....	65
4.4	Comportamento da Temperatura do Ar.....	70
4.5	Inativação da <i>E. Coli</i> e dos Coliformes Totais e Intensidade da R-UVA.....	72
4.6	Comportamento da Radiação Solar Total.....	81
4.7	Identificação dos Microrganismos Resistentes a SODIS.....	84
4.7.1	Coloração de Gram.....	84
4.7.2	Kit de Identificação dos Microrganismos.....	85
4.8	Análise do Fitoplâncton.....	86
5	CONCLUSÕES.....	87
6	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
	APÊNDICES.....	99

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e a busca interminável pelo avanço tecnológico para sustentar este crescimento, têm como consequência à utilização crescente das disponibilidades quantitativas e qualitativas das fontes de energia, dentre estas a água. A utilização da água pode promover alteração na sua composição, comprometendo sua qualidade e levando à poluição e contaminação. As principais fontes de poluição da água são os esgotos domésticos, despejos industriais e escoamento superficial da área urbana e rural.

Um dos aspectos fundamentais da poluição da água é o que está relacionado com as doenças de veiculação hídrica, que são ocasionadas pela presença de agentes transmissores de doenças, e que afeta principalmente o seu uso para abastecimento público. Dentre estas doenças destaca-se a diarreia que, de acordo com os dados da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2005) mata, principalmente nos países em desenvolvimento, cerca de 1,8 milhões de pessoas todo ano, sendo 90 % crianças abaixo de cinco anos. A prevalência das doenças de veiculação hídrica, notadamente na América Latina, África e Ásia, constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento (Daniel, 2001). Na América Latina estima-se que cerca de 60 milhões de pessoas não tem acesso a água tratada, e além disso, a maior parte da água distribuída em áreas rurais não é clorada, expondo os usuários a consideráveis riscos de saúde (SODIS, 2002). No Brasil, dos 9.848 distritos existentes, 3.258 (33%) não dispõem de tratamento de água para abastecimento, sendo que em Goiás, dos 309 distritos, 66 (21%) não dispõem de água tratada (IBGE, 2000).

Para atender a população, que não tem acesso à água tratada, é necessário encontrar um sistema de tratamento de água alternativo que reduza os custos de implantação e operação, oferecendo condições de saneamento satisfatórias. A escolha do tipo de tratamento adequado para água de abastecimento dependerá de fatores econômicos, sociais, geográficos e da qualidade físico-química da água a ser tratada.

Vários estudos nacionais e internacionais sobre métodos alternativos de tratamento de água estão sendo realizados para suprir a população que não tem acesso à água tratada, principalmente as comunidades pequenas localizadas em área rural e em regiões mais distantes, onde o suprimento de água potável por meio do processo de tratamento convencional é inviável financeiramente. A nível nacional tem se destacado o estudo de Daniel (2001), que envolveu cinco universidades brasileiras investigando o uso de desinfetantes alternativos, dentre eles a Desinfecção Solar da Água.

A desinfecção da água é um dos processos utilizados para controlar a transmissão das

doenças de veiculação hídrica por meio do qual se deseja inativar os microrganismos patogênicos e ainda oferecer segurança quanto a não geração de produtos nocivos à saúde humana. A desinfecção da água pode ser realizada com o uso de agentes físicos e/ou químicos.

O uso da desinfecção solar da água foi iniciado pelo Professor Aftim Acra na Universidade Americana de Beirute. O trabalho de Acra motivou a Associação de Sistema de Energia Rural Integrada - INRESA (do inglês, Integrated Rural Energy Systems Association) a lançar um projeto em rede, no ano de 1985. Em 1991 uma equipe interdisciplinar composta de engenheiros sanitários, fotoquímicos, bacteriologistas e virologistas do EAWAG/SANDEC elaboraram um extenso estudo laboratorial para avaliar o potencial do SODIS (do inglês, Solar Desinfection) e desenvolver um método efetivo, sustentável e barato de tratamento de água. Durante a primeira fase do projeto os cientistas na EAWAG combinaram os efeitos da radiação ultravioleta e da temperatura e descobriram uma forte ação conjunta entre radiação e calor (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002). Na segunda fase do projeto, vários tipos de recipiente foram testados sob condições da área, usando diferentes qualidades de água e condições climáticas, e a terceira fase, de aceitação cultural, foi realizada por meio de um projeto de demonstração em comunidades locais na Colômbia, Burkina Faso, Togo, Indonésia, Tailândia e China, onde foram avaliadas a aplicabilidade e a viabilidade financeira da SODIS (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002).

O presente trabalho irá avaliar a eficiência da desinfecção solar da água, que é uma opção de tratamento de baixo custo, pois não necessita de recursos tecnológicos e operacionais significativos. Este processo de tratamento utiliza o sol como fonte de energia e calor, e recipientes simples e acessíveis para acondicionamento da água a ser tratada, como por exemplo às garrafas PET, que são objetos de estudo desta pesquisa. Dessa forma, este método apresenta-se como uma alternativa potencial para o uso em pequenas comunidades e em domicílios unifamiliares de renda baixa e que se encontram em regiões distantes e ensolaradas na maior parte do tempo, onde o emprego do tratamento convencional da água implica em altos custos. Estudos desenvolvidos aqui no Brasil sobre SODIS ainda são escassos, existindo um grande campo de pesquisa a ser explorado.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é determinar a eficiência da inativação bacteriana por meio de desinfecção solar, com base no decrescimento bacteriano do microrganismo indicador *E. coli* e, utilizando garrafas PET como recipientes para acondicionar a água.

Para alcançar o objetivo geral da pesquisa foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- determinar a eficiência da inativação do microrganismo *Escherichia coli*;
- avaliar a influência das condições de nebulosidade do céu no processo de desinfecção solar e do uso do concentrador solar;
- avaliar o comportamento da temperatura da água no processo de desinfecção solar;
- determinar o tempo de exposição à radiação solar, necessário para inativação do microrganismo patogênico *Escherichia coli*;
- determinar a intensidade da radiação UV-A (320 – 400nm) necessária para desinfecção da água;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desinfecção da Água

A disponibilidade de água tratada nas comunidades e domicílios ajuda a evitar e controlar a propagação de doenças infecciosas que afetam a saúde humana, pois a água é um importante meio de transmissão de doenças. A água sem tratamento ou sem desinfecção efetiva é a causa de muitas epidemias, tais como tifo e cólera em todo o mundo.

A perspectiva de transmissão de doenças de veiculação hídrica relaciona-se primeiramente com as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais e, secundariamente, com o estado geral de saúde, idade e condições de higiene da população exposta. A poluição e a consequente alteração das características das águas naturais decorrem de causas naturais e principalmente das atividades antrópicas, urbanas, industriais e agrícolas (DANIEL, 2001).

Podem ser citados como causas naturais das alterações nas características das águas o clima, a topografia e a geologia do terreno, a intrusão de águas do mar nas regiões costeiras, a presença de nutrientes, os incêndios e as estratificações térmicas em lagos e reservatórios, dentre estas merece destaque a intensidade das precipitações. As alterações de origem antrópica na qualidade das águas naturais são devidas, principalmente, ao lançamento de águas residuárias nos corpos d'água, infiltrações oriundas de fossas e aterros sanitários, lixiviação dos solos agriculturáveis e escoamento superficial urbano. Portanto, para conseguir o controle da propagação das doenças de veiculação hídrica é indispensável uma política de proteção aos mananciais e um sistema eficiente de potabilização. Um outro fator que deverá ser considerado no controle das doenças é a rede de distribuição da água potável, que deverá ser construída de forma a evitar a recontaminação da água tratada (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002).

A desinfecção da água tem sido reconhecida como um dos meios mais importantes de proteção para saúde dos seres humanos. Segundo Reiff e Witt (1995), a desinfecção da água tem a missão específica de eliminação, seletiva se necessária, dos organismos que podem causar ou transmitir infecção pela água. A desinfecção não implica necessariamente, na destruição completa de todas as formas vivas (esterilização), embora muitas vezes o processo de desinfecção seja levado até o ponto de esterilização.

Segundo Rossin (1976), a desinfecção é a destruição de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de organismos indesejáveis que podem sobreviver por várias semanas a temperaturas próximas a 21 °C ou, possivelmente, por vários meses a temperatura

baixa.

Para Stanier, Doudoroff e Adelberg (1963) *apud* Daniel (2001) a ação dos desinfetantes sobre os microrganismos pode se dar sob três mecanismos diversos:

1. Destruição ou danificação da organização estrutural da célula com atuação na parede celular, causando disfunções pela combinação com ácidos ribonucléicos do citoplasma ou do núcleo; como os derivados do cloro na inativação de bactérias e processos oxidativos avançados;
2. Interferência no nível energético do metabolismo pela inativação de enzimas;
3. Interferência na biossíntese e crescimento pela combinação com síntese de proteínas, ácidos nucléicos, enzimas e outros, como os compostos clorados atuando nos vírus e radiações ultravioleta e solar;

Segundo Fair *et al.* (1968), os desinfetantes de água devem possuir as seguintes propriedades: a) poder de destruir em um tempo razoável os organismos patogênicos a serem eliminados; b) não serem tóxicos ao homem e aos animais domésticos, e nas dosagens usuais não causar cheiro e gosto na água prejudicando o consumo; c) terem um custo razoável e apresentarem condições de facilidade e segurança no transporte, armazenamento, manuseio e aplicação; d) permitirem a determinação da concentração na água de forma fácil e rápida; e) devem produzir um residual que impeça o recrescimento dos microrganismos antes do uso.

A sobrevivência dos organismos patogênicos na água depende da temperatura, pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas, habilidade na formação de esporos (ROSSIN, 1976). A turbidez, principalmente, tem um papel significativo na eficiência da desinfecção, uma vez que pode servir como meio de proteção para os microrganismos, contra a ação dos agentes desinfetantes.

2.2 Métodos de Desinfecção da Água

A desinfecção é uma barreira efetiva para muitos patogênicos durante o tratamento de água, e deveria ser usada nas águas de superfícies e nas águas subterrâneas que estão sujeitas a contaminação fecal. A desinfecção residual deve ser usada para assegurar uma proteção parcial contra o crescimento e a contaminação dentro do sistema de distribuição de água (WHO, 2004).

A desinfecção pode ocorrer por meio dos meios físicos e/ou químicos. O desinfetante químico mais comumente utilizado na desinfecção para a produção de água potável é o cloro (Cl_2), líquido ou gasoso. Outros desinfetantes químicos considerados alternativos são o hipoclorito de sódio (NaClO) ou de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), o ozônio (O_3), o dióxido de cloro (Cl_2), o

permanganato de potássio (KMnO_4), a mistura ozônio/peróxido de hidrogênio ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), o íon ferrato (FeO_4^{2-}), o ácido peracético ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOOH}$) e outros agentes como sais de prata, sais de cobre, detergentes, etc. (DANIEL, 2001).

O método de desinfecção química é baseado, em sua maioria, na oxidação química e destruição das células, causando a morte do organismo. A desinfecção química da água de abastecimento contaminada fecalmente, reduz os riscos de doenças mas, não necessariamente confere segurança a água. Desinfetantes, que são oxidantes muito fortes, podem gerar alguns subprodutos, como trihalometanos e compostos inorgânicos, que podem ser danosos aos usuários de água tratada e ao meio ambiente.

Nos processos físicos de desinfecção da água são utilizados os raios gama, ultravioleta, calor, radiação solar e radiação ionizante. No emprego de agentes físicos prepondera a interferência na biossíntese e na reprodução celular, como consequência dos danos fotoquímicos causados a seus ácidos nucleicos. Sendo o ácido desoxirribonucléico (DNA) o responsável pelo controle das funções e reprodução das células (AGUIAR *et al.*, 2002).

Nos itens seguintes serão apresentados três métodos, dentre os mais utilizados para desinfecção da água de abastecimento, mais o método de Desinfecção Solar da Água, que é objeto deste estudo.

2.2.1 Cloração

A cloração é o método de desinfecção da água mais amplamente usado. O cloro empregado na desinfecção tem sido utilizado comercialmente de três formas: cloro líquido ou gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio (DANIEL, 2001).

O gás cloro, o hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio são exemplo de derivados clorados de origem inorgânica, enquanto as “cloraminas” são compostos clorados orgânicos.

De acordo com Morris (1985) pode-se citar como benefícios do uso do cloro no tratamento de água: a) ser um germicida potente, pois o uso do cloro reduz o número dos microrganismos na água potável; b) a qualidade residual do cloro produz uma ação de desinfecção residual “única entre os desinfetantes de água disponíveis em grande escala”; c) a presença do cloro produz um resíduo elevado mantendo a água desinfetada de boa qualidade até o consumidor; d) o cloro oxida muitas substâncias, tais como as secreções de algas e odores da vegetação em putrefação, produzindo uma água potável sem odor e com melhor sabor; e) o controle de crescimento biológico, da potente ação germicida do cloro, elimina as bactérias e as algas; e) o cloro controla organismos patogênicos que geralmente crescem em reservatórios e

paredes de tubulações.

As desvantagens da cloração estão na formação de compostos organoclorados carcinogênicos (trihalometanos) bem como, na toxicidade do cloro residual a biota aquática. O emprego do cloro em águas que contêm compostos orgânicos é que pode levar a formação dos trihalometanos. De acordo com Macêdo (1997) um aspecto importante que contribui para o aumento do uso de derivados clorados de origem orgânica é a sua característica de reduzir a probabilidade de formação de trihalometanos, que é muito pequena ou nula. (MACÊDO, 1997).

A desinfecção por cloro da água tem limitações contra protozoários patogênicos, especialmente oocistos de *Cryptosporidium*, e alguns vírus. A turbidez elevada pode proteger os microrganismos dos efeitos da desinfecção, estimulando o crescimento das bactérias e aumentando a demanda por cloro (WHO, 2004).

A cloração usualmente está no centro dos processos de tratamento de água, particularmente nos países desenvolvidos, onde há um crescente interesse na aplicação a nível familiar. Se aplicado corretamente (em termos de concentração e tempo de contato), o cloro é efetivo contra quase todas as doenças patogênicas, incluindo viroses (LAURENT, 2005).

2.2.2 Ozonização

O ozônio é um oxidante extremamente reativo e altamente bactericida, e pode ser usado como desinfetante primário. O gás ozônio é formado pela passagem do ar seco ou oxigênio puro através de um campo elétrico de alta voltagem. Isto causa a dissociação do oxigênio, sendo a formação do ozônio consequência da recombinação de espécies radiculares de oxigênio, com moléculas de oxigênio presentes no sistema. É um composto instável, portanto deverá ser produzido no local do uso.

O mecanismo de desinfecção do ozônio inclui: a) destruição parcial ou total da parede celular, levando a lise das células; b) reações com radicais livres da decomposição do ozônio; c) danos aos constituintes do material genético.

No aspecto técnico, a ozonização pode ser utilizada como método alternativo antes de se optar por uma forma mais robusta de desinfecção, desde que sejam levantados e avaliados parâmetros do ponto de vista operacional, administrativo, de infra-estrutura e de custo do projeto (REIFF; WITT, 1995). A ozonização é normalmente utilizada com tratamentos subsequentes, tal como a filtração que remove organismos biodegradáveis, e seguida de cloro residual para produzir um efeito residual (WHO, 2004).

De acordo com Rossin (1976), o ozônio apresenta as seguintes vantagens: a) redução de

odor, gosto e cor; b) poderoso oxidante; c) ação desinfetante para uma ampla faixa de pH; d) ação bactericida 300 a 3000 vezes mais rápida que o cloro para o mesmo tempo de contato; e) não apresenta perigo quanto a superdosagem. E como desvantagens à ausência da ação residual e o gasto com energia elétrica, que é 10 a 15 vezes maior que os gastos com cloro.

O ozônio aparece com uma opção melhor de tratamento de água, em relação ao cloro, quando a preocupação é a geração de subprodutos, como por exemplo, os trihalometanos. Para a inativação de vírus e outros microrganismos, como o oocistos de *Cryptosporidium*, são necessárias altas doses de cloro, ocasionando grandes concentrações de subprodutos. Por isso, o ozônio é um desinfetante potente, pois apresenta baixos níveis de produção de subprodutos da desinfecção.

2.2.3 Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta é um processo físico de desinfecção de águas de abastecimento e efluentes líquidos, onde ocorre a interferência na biossíntese e reprodução celular dos microrganismos (AGUIAR *et al.*, 2002). A radiação ultravioleta consegue inativar os vírus e as bactérias, atingindo os ácidos nucléicos (DANIEL, 2001)

Os principais componentes de um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta são as lâmpadas tipo arco de mercúrio, o equipamento de acionamento e o reator. Basicamente, dois tipos de lâmpadas são utilizados em um projeto de desinfecção por radiação ultravioleta: 1) baixa pressão de mercúrio; 2) média pressão de mercúrio.

A luz ultravioleta faz parte do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre 100 e 400 nm (nanômetro). Quanto menor o comprimento de onda maior a energia produzida, portanto a radiação ultravioleta na faixa de 200 a 280 nm (R-UVC) é a mais apropriada para a eliminação de micróbios. As lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio e as lâmpadas fluorescentes apresentam o mesmo princípio de operação, onde a radiação é gerada na lâmpada como resultado da descarga de elétrons entre os dois eletrodos, a qual excita os átomos de vapor de mercúrio em baixa pressão. As lâmpadas de baixa pressão de mercúrio produzem a maioria dos raios com comprimento de 253,7 nm, e este comprimento é muito próximo do comprimento de 245 a 285 nm, que é considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microrganismos (DANIEL, 2001).

A quantificação da intensidade de radiação ultravioleta só é possível por meio de radiômetros ou actinômetros. A dose de radiação ultravioleta é o produto da intensidade de radiação pelo tempo de exposição, apresentada na equação:

$$D = I \times t \quad (2.1)$$

Onde: D é a dose de radiação ultravioleta (W.h/m²); I é a intensidade da radiação (W/m²); t é o tempo de exposição (horas).

A dose adequada de radiação ultravioleta é uma variável importante para a eficiência da desinfecção, pois sob irradiação de luz na faixa do visível pode ocorrer reversão das reações fotoquímicas, caso a dose de irradiação não seja a adequada (DANIEL, 2001).

Os sistemas de desinfecção por radiação ultravioleta têm sido usados nas indústrias, nos hotéis, nos hospitais e na desinfecção dos efluentes líquidos de estações de tratamento das águas residuárias.

O uso da radiação ultravioleta aparece como uma opção alternativa ao uso do cloro, principalmente porque não forma subprodutos quando a água apresenta teor de matéria orgânica, e também devido a maior resistência dos protozoários e outros patogênicos ao uso do cloro. A radiação ultravioleta apresenta ainda como vantagens, a não formação de gosto e odor. Segundo Wright e Cairns (1998 *apud* AGUIAR *et al.*, 2002), a formação de subprodutos nos processos de desinfecção de águas é mínima, não tendo sido verificada a formação de subprodutos mutagênicos ou carcinógenos.

De acordo com Laurent (2005) algumas desvantagens do uso da desinfecção por radiação ultravioleta com lâmpadas são: a) qualidade da água influencia na inativação microbiológica (partículas, matéria orgânica dissolvida, inorgânicos dissolvidos); b) potencial da capacidade de recuperação dos microrganismos; c) proteção não residual; d) limpeza periódica das superfícies das lâmpadas para remoção de resíduos e para assegurar a transmissão UV; d) incerteza da quantidade de dose de radiação ultravioleta liberada na água (caso não seja utilizado o sensor); e) energia requerida é baixa, mas há uma necessidade de disponibilidade e confiança na fonte de eletricidade, e na fonte de substituição das lâmpadas; f) custo alto para unidades familiares, sendo mais econômico se o sistema for usado em comunidades.

2.2.4 Radiação Solar

A radiação solar pode ser utilizada para inativar e destruir bactérias patogênicas presentes na água, resultando no processo denominado desinfecção solar da água, também chamado de SODIS. Os microrganismos patogênicos são vulneráveis a dois efeitos da luz solar: radiação no espectro da luz no comprimento de onda 320 – 400 nm (R-UVA) e calor (aumento

de temperatura da água), sendo que a combinação destes dois efeitos, torna o efeito em conjunto maior que a soma dos efeitos em separado (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002).

Na SODIS quando os organismos são expostos à luz solar, os fotossensibilizadores absorvem fótons da luz na R-UVA. Os fotossensibilizadores reagem com moléculas de oxigênio para produzir espécies altamente reativas de oxigênio que reagem com o DNA, provocando mudanças na base do DNA e resultando em efeitos mutagênicos que bloqueiam a reprodução. Para as bactérias, o processo pode ser reversível, podendo as bactérias tornar-se viáveis se as condições permitirem a reparação das células (Kehoe *et al.*, 2001; McGuigan *et al.*, 1999). Vírus são incapazes de reparar o DNA prejudicado, portanto são sensíveis à inativação óptica (McGuigan *et al.*, 1999).

2.3 Desinfecção Solar

Os estudos relativos a SODIS iniciaram na década de 70, e tiveram maior reconhecimento a partir de 1985 (DANIEL, 2001). Este processo de desinfecção consiste em encher recipientes, limpos e transparentes, com a água a ser desinfetada e expô-los a luz do sol por várias horas. O uso da energia solar, que é universalmente disponível e gratuita, é a base desta tecnologia sustentável e de baixo custo (WEGELIN *et al.*, 1994). Acra *et al.* (1984) registraram, nos experimentos realizados em Beirut, que a intensidade da luz solar é maior entre 10 horas da manhã e 2 horas da tarde, por isso o período de exposição dos recipientes deve abranger estes horários.

O objetivo da SODIS é oferecer uma água de qualidade para a população que não dispõem de água segura para o consumo, no entanto a SODIS também tem suas limitações assim como outros processos de desinfecção (WEGELIN *et al.*, 1994). A localização geográfica e as condições climáticas, por exemplo, são fatores importantes a serem considerados na implementação deste processo. Estes e outros fatores como temperatura, radiação solar, turbidez, recipientes e recursos a serem utilizados para aumentar a efetividade do processo são discutidos nos itens seguintes.

2.3.1 Energia Solar

O Sol é a fonte de energia que controla a circulação da atmosfera. O Sol emite energia em forma de radiação eletromagnética, e uma parte é interceptada pelo sistema Terra-atmosfera e é convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética. A

radiação eletromagnética emitida pelo sol demonstra uma ampla extensão de comprimentos de onda. De acordo com Acra *et al.* (1990), a radiação eletromagnética engloba duas regiões maiores, que foram definidas de acordo com a sua capacidade de ionização: radiação ionizante, que são os raios-X e raios gama, e a radiação não ionizante, que são a ultravioleta, luz visível e radiação infravermelha (Figura 2.1-a). A radiação ionizante que é altamente prejudicial não penetra na atmosfera terrestre.

Com base no comprimento de onda, a radiação solar é dividida em várias bandas, sendo que na extensão de 100 a 400 nm, tem-se a radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta foi dividida arbitrariamente do ponto de vista dos seus efeitos biológicos (Figura 2.1-b).

a) Radiação Solar - Comprimento de Onda em nanômetro

Nível Invisível		Nível Visível						Nível Invisível	
	Ultravioleta	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Infravermelho	
100	400	425	490	575	585	650	700	14000	

b) Radiação Ultravioleta - Comprimento de Onda em nanômetro (nm)

	UV vácuo	UV - C	UV - B	UV - A
	UV - extrema	UV - longe	UV média	UV - próxima
100	200	280	320	400

Figura 2.1 - Espectro (a) da radiação solar não ionizante e (b) da radiação ultravioleta demonstrando as bandas da radiação, sua nomenclatura, e limites aproximados do comprimento de onda (Acra *et al.*, 1990).

Uma vez que o sol emite energia em praticamente todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético, tem-se que 44% de toda essa energia emitida se concentra entre 400 e 700 nm, denominado espectro visível de energia. O restante é dividido entre radiação ultravioleta (< 400 nm) com 7%, infravermelho próximo (entre 700 e 1400nm) com 37% e infravermelho (> 1400 nm) com 11%. Menos de 1% da radiação emitida concentra-se acima da região do infravermelho, que são microondas e ondas de rádio, e abaixo da região ultravioleta, que são os raios X e raios gama (CPTEC, 2006).

Como resultado dos fenômenos atmosféricos envolvendo reflexão, espalhamento, e absorção da radiação a quantidade de energia que alcança a superfície terrestre é muito reduzida com relação à intensidade da que atravessa a atmosfera. A quantidade da redução varia com o

comprimento de onda e depende da extensão do caminho percorrido pela radiação solar. A intensidade do feixe direto de luz solar depende da altitude do sol, latitude, estação climática, presença de nuvens e poluentes atmosféricos (ACRA *et al.*, 1984). Assim, a radiação solar total recebida na superfície terrestre consiste da radiação direta e indireta (difusa), e a radiação indireta é componente da radiação total causada pelo espalhamento atmosférico e reflexão da radiação solar incidente na terra. A reflexão da radiação da terra é principalmente da luz visível com o pico máximo no comprimento de onda de 555 nm- luz verde (ACRA *et al.*, 1984).

De acordo com Acra *et al.* (1984) a região mais favorável para o uso da SODIS encontra-se na latitude 15° N e 35° N, abrangendo as regiões semi-áridas que tem uma grande quantidade de radiação solar, usualmente recebendo mais de 3000 horas de sol por ano. A segunda região mais favorável encontra-se entre o equador e 15° N de latitude, nesta região porque a umidade é alta e a cobertura de nuvens é freqüente, a proporção de espalhamento da radiação é alta. A maioria dos países em desenvolvimento encontra-se nas regiões mais favoráveis entre as latitudes de 35° N e 35° S, sendo assim, a SODIS pode ser uma opção viável de tratamento da água para estes países.

2.3.2 Comprimento de Onda da Radiação Solar

Para utilizar a SODIS é necessário que haja radiação solar suficiente em termos de intensidade e duração. A intensidade da luz solar é o fator mais importante para determinar a efetividade da SODIS.

Nem toda energia emitida pelo sol que atinge a periferia da atmosfera alcança a superfície da terra. A atmosfera terrestre tem um importante papel, ela funciona como um filtro, selecionando a passagem dos componentes da radiação solar para a superfície da terra. As radiações com comprimento de onda curta são dispersas mais facilmente pelos gases atmosféricos ou partículas do que a radiação com comprimento de onda longo. A maior parte da radiação com comprimento de onda variando entre 200 a 300 nm é absorvida pela camada de ozônio (O₃) no topo da atmosfera. Este fenômeno de absorção é essencial para a vida, porque a exposição prolongada a radiação, com comprimento de onda menor que 300 nm, destrói o tecido vivo (ACRA *et al.*, 1984). Assim, a periculosidade biológica da radiação de comprimento de onda da radiação R-UVC, na faixa de 100 a 280 nm, é totalmente absorvida pelo oxigênio e ozônio presentes nas camadas superiores da atmosfera. A radiação UV-B (R-UVB), na faixa de 200 a 320 nm, é fortemente absorvida pelo ozônio presente principalmente na estratosfera e atinge a superfície terrestre em quantidades muito tênues, mas suficientes para provocar os

efeitos fotobiológicos, como por exemplo câncer e cataratas. A R-UVA, na faixa de 320 a 400 nm, que é pouco absorvida pelos gases presentes na atmosfera atinge a superfície terrestre em quantidades maiores (CORRÊA, 2004).

A radiação solar nas regiões do espectro vermelho e infravermelho com comprimento de onda maior que 700 nm é absorvida em algumas extensões pelo dióxido de carbono, ozônio e água, presente na atmosfera na forma de vapor e gotas condensadas. De fato, as gotas de água presentes nas nuvens não somente absorvem os raios de comprimento de onda longo, mas também espalham a radiação solar do comprimento de onda curto. De acordo com Acra *et al.* (1990) as nuvens podem refletir menos que 20% da radiação solar incidente, as nuvens carregadas podem refletir acima de 80% e a absorção da radiação por certos tipos de formação de nuvens densas pode ser menor que 10%. Assim, para as condições de tempo nublado, a radiação solar total recebida ao nível da terra é grandemente reduzida, sendo que o percentual de redução é dependente da cobertura de nuvens (ACRA *et al.*, 1990).

Estudos têm demonstrado que a luz visível azul e violeta têm pequena capacidade de desinfecção (WEGELIN *et al.*, 1994 e ACRA *et al.*, 1984), por outro lado os componentes da luz solar R-UVA, R-UVB e R-UVC são capazes de inativar microrganismos. A taxa de inativação de microrganismos aumenta de magnitude com a diminuição do comprimento de onda. Ela cresce na seguinte ordem: luz visível < UV-A < UV-B < UV-C e alcança o máximo no UV-C na faixa de 260 nm, que corresponde ao máximo de absorção pelo DNA (WEGELIN *et al.*, 1994). Comparando a R-UVA com a luz visível, por exemplo, é necessário mais que o dobro da quantidade de luz, quando se utiliza a luz visível para inativação dos microrganismos (WEGELIN *et al.*, 1994).

Estudos de Wegelin *et al.* (1994) demonstraram que o a R-UVA (320 – 400 nm) é a principal responsável pela inativação de microrganismos, e que a luz violeta (400 – 450 nm) sozinha, praticamente não tem efeito bactericida, no entanto devido ao efeito sinérgico dessas duas faixas de radiação ocorre o aumento significativo na taxa de inativação dos microrganismos.

Os estudos realizados por Acra *et al.* (1984), demonstraram que a porcentagem de bactérias coliformes destruídas, diminuía exponencialmente com o comprimento de onda de luz aumentando de 260 nm para 850 nm. Estes autores verificaram também que a destruição dos coliformes, e presumidamente de outras bactérias, sob o efeito da luz é mais eficiente para baixos comprimentos de onda (260 nm a 350 nm) e menos eficiente para altos comprimentos de onda, devendo desconsiderar a radiação com comprimento de onda abaixo de 290 nm, pois este componente da luz solar não alcança a terra. Os mesmos concluíram então, que o comprimento

de onda na extensão de 315 nm a 400 nm é a região mais letal, representando cerca de 70% do potencial de destruição bactericida, ficando os 30% restante a cargo da luz visível (400 – 700 nm). O Quadro 2.1 demonstra a dose de radiação (fluência) requerida para inativação de alguns microrganismos, indicando assim a resistência de alguns microrganismos à R-UVA.

Quadro 2.1. – Resistência de microrganismos a R-UVA (ACRA *et al.*, 1990).

Organismos de Teste	Fluência (W.h/m ²) requerida para a inativação		
	90%	99%	99.90%
<i>Streptococcus faecalis</i>	8,90	17,80	26,72
Coliformes	8,24	16,59	24,74
<i>Escherichia coli</i>	6,36	12,72	19,08

A R-UVA interage diretamente com o ácido nucléico (DNA) e enzimas das células vivas, mudando a estrutura molecular e conduzindo a morte da célula. A radiação ultravioleta também reage com o oxigênio dissolvido na água e produz formas altamente reativas de oxigênio. Estas moléculas reativas também interferem nas estruturas das células e matam os agentes patogênicos (ACRA *et al.*, 1990).

2.3.3 Radiação Ultravioleta – Medição e Cálculo

Para conhecer a disponibilidade da radiação solar que incide na superfície terrestre pode-se utilizar os radiômetros colocados na superfície terrestre, que são aparelhos que medem a intensidade da radiação ultravioleta. Segundo Martins *et al.* (2004), os radiômetros fornecem medidas pontuais com grande precisão, mas tem um alto custo para grandes áreas territoriais, como por exemplo o Brasil, e produzem resultados com elevado grau de incerteza devido aos processos de interpolação e extrapolação entre as estações de superfícies distribuídas de forma esparsa e heterogênea no território. Ainda segundo Martins *et al.* (2004), uma alternativa é a aplicação de modelos computacionais que estimam a radiação solar incidente na superfície por meio da parametrização dos processos radiativos no sistema Terra-Atmosfera e que oferece resultados bastante confiáveis a um custo relativamente baixo em comparação a implantação e operação de radiômetros.

Resultados publicados por Schillings *et al.* (2002 *apud* MARTINS *et al.*, 2004) verificaram que as estimativas horárias de irradiação solar na superfície fornecida por modelos computacionais simples que utilizam dados atmosféricos obtidos por satélite apresentam maior confiabilidade do que as estimativas obtidas pela interpolação de medidas de uma rede de radiômetros distribuídos na superfície do planeta com distâncias superiores 35-50 km entre os mesmos.

Um exemplo de modelo computacional é o UV-GAME (do inglês, *Ultraviolet Global Atmospheric Model*) que foi desenvolvido para aplicações sob diferentes condições atmosféricas, geográficas e temporais, e é um modelo voltado à exigência de grande precisão computacional, tal como avaliações de radiâncias, irradiâncias e fluxos actínicos espectrais (CORRÊA, 2004). A validação dos cálculos espectrais do modelo UVGAME foi realizada por meio de comparações com o modelo LibRadTran, e os resultados das comparações mostraram uma boa correlação encontrada na validação do UVGAME, onde a margem de erros proposta na intercomparação foi coerente, com diferenças inferiores a 2% em comprimento de onda maiores que 320 nm e menores que 5% em torno de 300 nm (CORRÊA, 2004).

2.3.4 A Importância da Temperatura da Água e da Radiação Solar na Inativação dos Microrganismos

Os microrganismos são sensíveis ao aquecimento da água. Líquidos podem ser pasteurizados usando temperaturas abaixo da temperatura de ebulição, contando que sejam mantidos a uma temperatura por um determinado período de tempo. Os vírus entéricos na água podem ser pasteurizados em uma hora a 62 °C ou em um dia a 50 °C (BURCH; THOMAS, 1998 *apud* ROJKO, 2003). Em uma hora o *Vibrio cholerae* é inativado a 45 °C, e a *Entamoeba histolytica cysts* e *Giardia cysts* a 50 °C (SOMMER *et al.*, 1997).

O processo da SODIS tem dois fatores determinantes a luz ultravioleta, que irradia os microrganismos e induz a formação de formas reativas de oxigênio (efeito óptico), e a radiação infravermelha que aquece a água (efeito termal). Vários autores indicam que a radiação solar trabalha sinergeticamente com o aquecimento solar da água para desinfetar a água (MONTEIRO, 1999; ROJKO, 2003; WEGELIN *et al.*, 1994). A taxa de inativação dos coliformes termotolerantes aumenta significativamente quando são expostos ao aquecimento através da irradiação. O Quadro 2.2 demonstra o efeito sinérgico da radiação ultravioleta e da temperatura da água para vírus e bactérias.

Quadro 2.2 – Inativação através da luz artificial dos colifagos f2 (bacteriófago), vírus *encephalomyocarditis* - EMCV e do rotavírus. O tempo e a fluência requerida para redução de 99,9% dos microrganismos, sob diferentes temperaturas, são demonstrados (SODIS, 2006a).

f2	Tempo (horas)	Fluência (Wh/m²)
20 °C	3.3	2502
50 °C	1.3	973
EMCV		
20 °C	12.5	9535
50 °C	1.8	1390
Rotavírus		
20 °C	2.5	1890
40 °C	0.7	528

Rijal e Fujioka (2001 *apud* ROJKO, 2003) determinaram a efetividade da pasteurização versus pasteurização com radiação solar, em vários microrganismos como coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* (*E. coli*), enterococci, *Clostridium perfringens* e outros. Os testes foram efetuados utilizando água de baixa turbidez (< 2 UT). Nos dias ensolarados, as amostras somente pasteurizadas atingiram temperaturas de 65 °C alcançando inativação de mais de 3-Log da *E. coli* em 3 horas. A pasteurização com a radiação solar conseguiu alcançar nas amostras a mesma inativação a uma temperatura de 56 °C em 2 horas. Estes resultados confirmaram que a radiação solar e a temperatura atuam sinergeticamente para inativar a bactéria.

Microrganismos são diferentemente sensitivos a radiação e a temperatura. Jorgensen *et al.* (1998) verificaram que as bactérias indicadoras de contaminação fecal, foram inativadas na água a uma temperatura de 62 °C ou mais, e que outros microrganismos como bactérias formadoras de esporos, não foram completamente inativados para temperaturas de 75 °C. Assim, verificaram que a temperatura de 65 °C ou mais inativava as bactérias coliformes e as bactérias termotolerantes que estavam presentes na água do rio contaminada naturalmente, e a *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus faecalis* e *E. coli* que foram cultivados e adicionados à água bruta do rio.

A temperatura tem um papel muito importante na desinfecção solar. Nas pesquisas realizadas por Joyce *et al.* (1996), sob temperaturas variadas e utilizando garrafas de plásticos transparentes de 2000 mL, os melhores resultados de desinfecção foram encontrados para as

temperaturas mais altas (Máxima de 55 °C). Para uma temperatura de 55 °C em 7 horas de exposição à radiação solar, obteve-se uma inativação de 5-Log da *E. coli*.

Wegelin *et al.* (1994) observaram que a temperatura da água entre 20 e 40 °C não afetou a inativação da bactéria por meio da R-UVA e da luz visível, porém aumentou significativamente a taxa de inativação de diversos vírus, como f2, enterovírus e rotavírus. Estes autores observaram uma redução de 99,9% de enterovírus após 42 minutos de exposição ao sol para uma temperatura da água de 40 °C, enquanto que para 20 °C foram necessários 150 minutos para se atingir o mesmo grau de inativação sob as mesmas condições de estudo. Wegelin *et al.* (1994) verificaram que foi necessária uma dose de radiação solar (350 – 400 nm) de 2000 kJ/m² ou 555 Wh/m² para reduzir 99,9% (3-log) do número de *E. coli*, para o tempo de exposição de 5 horas e temperatura da água entre 20 e 40 °C.

Na inativação de coliformes fecais, em testes realizados pelo EAWAG para a temperatura limite da água de 50 °C, a densidade de energia requerida de luz UV-A foi quatro vezes menor do que para a temperatura de 30 °C, onde concluíram que a inativação das bactérias foi devido ao efeito da temperatura elevada, a exposição à luz solar e a sinergia de ambos os fatores (WEGELIN *et al.*, 1998).

A redução significativa na concentração dos coliformes fecais e *Vibrio cholerae*, relatada nos estudos de Sommer *et al.* (1997), demonstraram que a SODIS é um método de inativação seguro e efetivo para a temperatura da água em torno de 50 °C combinada com R-UVA.

Nos estudos de Acra *et al.* (1984) o tempo requerido para inativar 99,9% de bactérias coliformes por meio da luz solar foi 95 minutos, enquanto que para inativar a mesma amostra por meio da luz artificial foram necessários 630 minutos. Já para a população bactericida total a inativação de 99,9% por meio da luz solar foi alcançada em 300 minutos e por meio da luz artificial em 850 minutos.

2.3.5 Influência das Impurezas no Processo de Desinfecção da Água

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma, e os constituintes responsáveis pela sua formação são os sólidos em suspensão (SPERLING, 1996). Partículas suspensas na água podem impedir, até certo ponto, a penetração da radiação solar na água, isto depende da turbidez e da profundidade da água que está sendo exposta e, além disso, as partículas suspensas podem proteger alguns microrganismos aderidos a sua superfície (ACRA *et al.*, 1984).

Segundo os estudos de Wegelin *et al.* (1994), para que a desinfecção por meio da luz solar seja eficiente a água deve apresentar turbidez menor que 30 UT. Portanto, antes de aplicar a SODIS para águas com alta turbidez, é recomendável um pré-tratamento, como por exemplo, a filtração. Os estudos de Caslake *et al.* (2004), utilizando uma unidade de desinfecção solar, confirmaram que a turbidez afeta inversamente a taxa de inativação das bactérias, onde, para obter inativação de 4-Log de bactérias, quanto maior o nível de turbidez da água maior era o tempo de exposição requerido.

As medições em laboratório de Joyce *et al.* (1996), demonstraram que em amostras de água com turbidez maior que 200 UT, menos de 1% do total de incidência da luz UV penetra mais que 2 cm de profundidade da superfície. Ainda assim, os resultados deste estudo demonstraram que desde que a temperatura da água exceda 55 °C a SODIS é possível até mesmo para água de alta turbidez (aproximadamente 200 UT). Nos estudos realizados por Kehoe *et al.* (2001), a turbidez máxima para a eliminação total de bactérias foi de 200 UT com tempo de exposição de 8,5 horas, em condições de sol durante todo o dia.

Para uma água com turbidez aproximadamente igual a 0 UT, acondicionada em garrafas plásticas, Rojko (2003) obteve uma inativação de 7-log para um comprimento de onda de 400 nm, e intensidade mínima de 57,8 Wh/m². Enquanto que, para obter a mesma inativação, as amostras com turbidez superior a 100 UT necessitaram de uma fluência de 162 a 277,2 Wh/m².

Nos estudos realizados por Brandão *et al.* (2000), no Brasil, foram avaliados os efeitos da cor verdadeira e da turbidez sobre o processo de desinfecção solar da água, utilizando recipientes de profundidade de 5 cm expostos à luz solar, onde observou-se que a cor verdadeira na água tende a interferir mais do que a turbidez. Estes autores verificaram que na água com presença de cor verdadeira e turbidez, o decrescimento da *E. coli* é similar para água com apenas cor verdadeira, requerendo aproximadamente 2 horas de exposição solar para total inativação. Porém, as amostras com ausência de cor e turbidez, requereram apenas 1 hora para inativação total da *E. coli*.

De acordo com Acra *et al.* (1984), em amostras altamente coloridas à luz solar pode não ter o efeito letal, porque a água colorida pode absorver a radiação em determinados comprimentos de onda.

2.3.6 Recipientes para Acondicionar a Água Durante a Desinfecção Solar

A forma, a cor, o tamanho, a espessura e o tipo de material do recipiente que acondicionará a água, podem ter um impacto significativo na efetividade da desinfecção,

portanto, na escolha do recipiente estes fatores deverão ser considerados. A cor do recipiente é tratada no item seguinte (2.3.7).

Segundo Acra *et al.* (1984) a forma da garrafa interfere pouco na capacidade da desinfecção solar, porém os recipientes com forma arredondada têm apresentados resultados mais rápidos, tornando os recipientes arredondados ou cilíndricos mais indicados do que os quadrados. A forma dos recipientes arredondados se adapta melhor ao movimento do sol, de leste a oeste (ACRA *et al.*, 1984). Entretanto, recipientes com forma quadrada podem ainda ser usados satisfatoriamente, em Brasília foram realizados estudos da SODIS utilizando recipientes de vidro retangulares (MONTEIRO, 1999).

Vários recipientes já foram testados na desinfecção solar, dentre eles: garrafas de vidro ou de plásticos, e sacolas de plásticos. As garrafas de plástico são feitas de PET (politereftalato de etileno) e PVC (policloreto de vinila), e ambos contém aditivos para aumentar sua estabilidade ou proteger o seu conteúdo da oxidação e radiação ultravioleta. Os aditivos raramente imigram através do material PET, mas eles são um potencial risco a saúde. No PET, os aditivos são menos usados do que no PVC, tornando o PET um material preferido para a SODIS (SODIS, 2006b).

Nos estudos de Wegelin *et al.* (2000), que analisaram as mudanças que a luz solar pode provocar no material e no conteúdo das garrafas PET, verificou-se que: a) fotoprodutos foram formados no exterior das superfícies das garrafas PET; b) os fotoprodutos aumentam a absorção do espectro solar UV, com o progressivo aumento do tempo de exposição ao sol; c) o envelhecimento fotoquímico das garrafas não mudou a qualidade da água estocada nestas garrafas, considerando os aldeídos, fotoprodutos orgânicos, aditivos ou concentrações de fitaleína. Todas essas substâncias foram detectadas com concentrações bem abaixo dos limites de segurança da água de abastecimento.

As garrafas de vidro contém óxido de ferro e apresentam espessura média de 2 mm, sendo praticamente opacos a radiação ultravioleta. Então, para viabilizar a utilização dos recipientes de vidro seria necessário utilizar vidros específicos, que transmitem a radiação ultravioleta, como pyrex, corex, vidro de quartzo, dentre outros, e que devido ao seu custo alto tornam-se pouco atrativos. Comparativamente as garrafas de plástico, os recipientes de vidro quebram mais facilmente, são mais pesados e mais caros, por isso as garrafas PET deveriam ser usadas na aplicação da desinfecção solar, já que este material é admitido como tendo menos aditivos do que o PVC (WEGELIN *et al.*, 2000).

Uma outra opção de recipiente para SODIS é o saco de plástico preto ou transparente, produzido com grande área para exposição à luz solar e profundidade da água menor que 6 cm.

Algumas desvantagens do uso dos sacos de plásticos são: a) dificuldade no manuseio; b) cheiro de plástico na água; c) baixa disponibilidade; d) pouca durabilidade. No entanto, as garrafas PET apresentam as seguintes vantagens: a) podem ser utilizadas diretamente no local de exposição, não havendo necessidade de outro recipiente; b) fácil de manusear; c) mais durável; d) disponibilizadas a baixo custo; e) mais valorizada.

Acra *et al.* (1984) especificam que o tamanho do recipiente é uma variável que afeta a desinfecção solar. Monteiro (1999) utilizando recipientes de vidro variou a profundidade destes em 5, 10 e 12 cm, e concluiu que quanto menor a profundidade maior a eficiência do processo de desinfecção solar, recomendando que sejam utilizados recipientes de até 10 cm, pois a partir deste valor o processo da SODIS pode ficar comprometido. Estes autores averiguaram também que, quanto maior a área de exposição melhor a eficiência do processo de desinfecção por radiação solar, ou seja, mais rápida e eficiente é a remoção das bactérias coliformes.

Brandão *et al.* (2000) utilizando recipientes de bases retangulares, confeccionados em vidros transparentes de altura de 5 cm e 10 cm com volumes de amostra igual, encontrou resultados diferenciados de inativação para estes recipientes. Foram necessárias 3 horas de exposição para inativar totalmente os organismos presentes no recipiente de 5 cm, enquanto que para o recipiente de 10 cm o tempo de exposição de 5 horas não foi suficiente para garantir a ausência de coliformes.

2.3.7 Transmitância da Radiação Solar nos Recipientes

Na escolha dos recipientes mais adequados ao uso na desinfecção solar, além do tamanho e da forma, deverá ser considerada a capacidade de penetração dos raios que tem maior efeito letal para microrganismos. Idealmente, as paredes de tais recipientes deveriam ser completamente transparentes para a luz, dentro da extensão espectral da luz solar terrestre, de 290 nm a extensão do infravermelho.

Segundo Acra *et al.* (1984) os recipientes incolores, de plástico ou de vidro, são as melhores escolhas para a SODIS quando disponíveis, porque eles transmitem a luz próxima a região ultravioleta (315 – 400 nm), que é a mais letal aos microrganismos, e também a banda visível do espectro (400 – 750 nm). Na região do visível, o efeito letal decresce na seguinte ordem: violeta > azul > verde > amarelo > laranja > vermelho, sendo o vermelho o de menor efeito letal. A R-UV-B (280 a 320 nm) é transmitida apenas através de vidros especiais. Portanto, na escolha dos recipientes a preferência deve ser por recipientes incolores.

A espessura das paredes dos recipientes é um outro fator que deve ser considerado, uma

vez que quanto maior a espessura da parede menor é a transmissão dos raios efetivos da luz solar. De acordo com CPTEC (2006) transmitância é fração do fluxo incidente sobre um sistema que consegue atravessá-lo. O conceito inclui tanto a transferência de radiação que não sofreu interação com o sistema quanto à produção de radiação difusa para o hemisfério de destino do fluxo incidente. É numericamente igual à soma da transmitância direta, associada apenas à atenuação do fluxo incidente, com a transmitância difusa, associada ao pró-espalhamento (CPTEC, 2006).

Devido a presença de estabilizadores UV e a propriedade de absorção da luz do próprio material PET, é difícil obter garrafas plásticas com transparência inferior a 320 nm. Garrafas PET limpas tem uma transmitância maior que 60% acima de 340 nm (WEGELIN *et al.*, 2000). De acordo com os estudos de Sommer *et al.* (1997), o valor aproximado da perda de transmissão do UV-A, nos materiais dos recipientes transparentes é os seguintes: 30% para as garrafas de plásticos, 25% para as garrafas de vidro e 10% para sacos de plásticos. E a perda para os sacos coloridos é no mínimo seis vezes mais alta do que para sacos transparentes.

Os estudos de Wegelin *et al.* (2000) demonstraram as alterações que ocorrem na transmitância devido à idade das garrafas PET. Depois de vários meses expostas a luz solar, as garrafas PET apresentaram uma redução geral na transmitância do UV, e concluíram que a transmitância das garrafas novas é maior que nas velhas, e que as garrafas que apresentam ranhuras tem transmitância ainda menor. Os resultados demonstraram que a absorção da radiação nas garrafas velhas é maior que nas novas.

No vidro, a quantidade de radiação que passa na parede dos recipientes depende da cor, do tipo e espessura do vidro, do ângulo de incidência e da banda de comprimento de onda da radiação. A transmissão da radiação ultravioleta é amplamente determinada pelo conteúdo de óxido de ferro no vidro. Alguns vidros específicos (Pirex, Corex, Quartzo) transmitem significativamente mais radiação ultravioleta do que o vidro de janela comum (SODIS, 2006b). Os agentes que normalmente dão coloração aos vidros são: ferro, manganês, cromo, cobre e o cobalto, mas o ferro é o principal material colorante. Estes colorantes causam a absorção da radiação para comprimentos de onda específicos. Dessa forma, os vidros com baixo conteúdo de ferro permitem uma alta transmissão de radiação, sendo portanto a melhor escolha para recipientes, depois seguidos dos vidros azuis.

Além dos critérios como tamanho, forma, espessura, cor e transparência do material, deverão ser considerados na escolha do recipiente a disponibilidade local e o custo, uma vez que a SODIS apresenta-se como uma opção de tratamento para unidades familiares de menor poder aquisitivo.

2.3.8 Transmitância da Radiação Solar na Água

A proporção da luz solar transmitida através da água depende da espessura da lâmina d'água, da turbidez causada por partículas orgânicas e inorgânicas suspensas na água; das propriedades ópticas, que podem ser modificadas pela presença de substâncias que absorvem luz como as partículas responsáveis pela coloração, sais minerais e substâncias húmicas e do comprimento de onda (CALKINS; BARCELO 1974 *apud* MONTEIRO, 1999).

Os dois principais fatores responsáveis pela atenuação da radiação ao longo da profundidade no meio aquático são a absorção e a dispersão. Ao penetrar na água a radiação sofre uma mudança de direção devido à refração da radiação. Uma parcela da radiação é absorvida e transformada em outras formas de energia, e a outra parcela sofre dispersão. A dispersão na água é um fenômeno ocasionado até pelas moléculas da água, mas os principais fatores são as substâncias dissolvidas e as partículas suspensas no meio líquido, de tamanhos e formas variadas. As substâncias que dão cor à água absorvem a radiação, para comprimentos de onda específicos, que variam de acordo com a natureza da substância.

A intensidade da radiação UV-A decresce rapidamente com aumento na profundidade da água, e este efeito é amplificado pelo aumento da turbidez (SOMMER *et al.*, 1997). A perda na intensidade varia com comprimento de onda, sendo menor para comprimento de onda curto. Segundo Acra *et al.* (1984), para comprimentos de ondas de 300 a 500 nm, a redução na intensidade não excede 5% por metro de profundidade da água, enquanto que para comprimentos de onda longos este valor pode chegar a 40% por metro. Desta forma a radiação UV-A penetra na água limpa por vários metros, antes de sua intensidade ser consideravelmente diminuída, indicando assim que ela é facilmente transmitida através de pequenos volumes de água limpa.

2.3.9 Otimização do Processo

Recursos como a utilização de folhas de alumínio, concentradores solares, agitação das garrafas, pintura da metade de um lado das garrafas e suportes refletores, têm sido usados para aumentar a efetividade do processo da SODIS.

Estudos têm demonstrado que o aumento no nível de oxigênio nas amostras de água, expostas aos efeitos termal e óptico, correspondem a um aumento na sua taxa de inativação (Kehoe *et al.*, 2001; Reed *et al.*, 2000). Quando a R-UVA reage com a matéria orgânica dissolvida ela causa uma série de reações fotoquímicas. Estas reações produzem espécies

reativas tal como superóxidos (O_2), peróxidos de hidrogênio (H_2O_2), e radicais hidroxilas (OH^\cdot), que oxidam os componentes celular microbiológicos tal como o ácido nucléico, enzimas, e membranas dos lipídeos, destruindo os microrganismos. Os peróxidos de hidrogênio e os superóxidos produzem radicais hidroxilas, que tem um alto poder oxidativo, reagindo muito rápido com quase todos os tipos de moléculas das células vivas (KAUFMAN *et al.*, 2003). Este processo é chamado de desinfecção foto-oxidativa solar (em inglês, *solar photo-oxidative disinfection*), e por causa deste efeito o SODIS (2006c) recomenda a agitação vigorosa da água antes de ser colocada nas garrafas, ou a agitação de metade da água colocada nas garrafas e depois seu completo preenchimento, antes da exposição à radiação solar.

Os estudos realizados por Reed *et al.* (2000) na Índia e na África do Sul, para avaliar a efetividade da desinfecção foto-oxidativa solar, demonstraram que as bactérias coliformes fecais foram inativadas pelo efeito da foto-oxidação solar, alcançada pela vigorosa agitação da água nos recipientes transparentes de plásticos (1000 mL a 25000 mL), seguidas de exposição à luz solar por um período de 6 horas. Durante o período de exposição às garrafas eram agitadas de hora em hora. Este estudo foi realizado com turbidez abaixo de 10 UT, para assegurar a efetividade da penetração da luz solar durante a foto-oxidação solar. Para confirmar a importância do oxigênio para a inativação solar, algumas amostras em condição de anaerobiose foram expostas à luz solar e demonstraram uma taxa bem menor de inativação do que as amostras em condição de aerobiose. Neste estudo os autores também verificaram que não houve recrescimento das bactérias após 24 horas, e a utilização de recipientes com capacidade para 22000 e 25000 mL demonstrou que a foto-oxidação solar pode ser utilizada para tratar maiores volumes de água.

De acordo com Reed *et al.* (2000) uma vez que a temperatura alcançou o valor máximo de 30 °C e 38 °C, e estes valores estão abaixo da temperatura letal da bactéria fecal (80 °C) e abaixo do nível ideal (50 °C) requerido para sinergia entre a inativação óptica e termal, a foto-oxidação solar foi suficiente para inativar às bactérias coliformes fecais em fontes de água altamente contaminada.

Nos estudos de Oates *et al.* (2003) que foram realizados no Haiti, as garrafas do experimento foram cheias até dois terços de água e agitadas antes de seu completo enchimento, para aumentar a concentração de oxigênio. Utilizando *E. coli*, coliformes totais e bactérias redutoras de enxofre como parâmetros biológicos, conseguiram 100% de inativação em um dia de exposição à radiação solar, onde as condições climáticas eram adequadas.

Outro recurso estudado para aumentar a efetividade do processo da SODIS é o uso dos

concentradores solares. Com o propósito de aumentar a intensidade da radiação solar e reduzir o tempo de exposição na desinfecção solar, em 1999 o Instituto de Mexicano de Tecnologia da Água - IMTA desenvolveu um concentrador solar de paredes planas com capacidade para três garrafas de 2000 mL. O primeiro concentrador foi construído com uma estrutura de alumínio que permitia movê-lo e incliná-lo para mantê-lo perpendicular ao sol e espelho de vidro como material refletor. De acordo com a geometria deste concentrador, sua capacidade era para 3 garrafas. Depois Domingues e Herrera (2003) construíram um protótipo para adequar as comunidades rurais. Este concentrador tinha uma base de madeira de 55 x 55 cm, quatro aletas planas também de madeira de 35 x 35 cm, sendo todos revestidos com papel alumínio comercial, e oito triângulos de 8,5 x 15 x 17,5 cm de madeira para dar uma inclinação de 60 °C com a horizontal para as aletas (Figura 2.2). De acordo com os estudos de Herrera e Domingues (2003) os concentradores solares de paredes planas aumentam a radiação útil dentro das garrafas até 2,25 vezes comparado com as garrafas sem concentrador solar, dependendo da posição das garrafas e da hora do dia. A vantagem se fundamenta em requerer uma menor quantidade de energia radiante ou um menor tempo de exposição para obter eficiência de remoção de 100% de coliformes totais.

Os resultados do estudo de Herrera e Domingues (2003) mostraram que utilizando os concentradores solares pode se obter redução de 10^5 NMP/100 mL de coliformes totais e 10^3 unidades formadoras de colônias de *Vibrio cholerae* com níveis de radiação de 700W/m^2 com 4 horas de exposição.

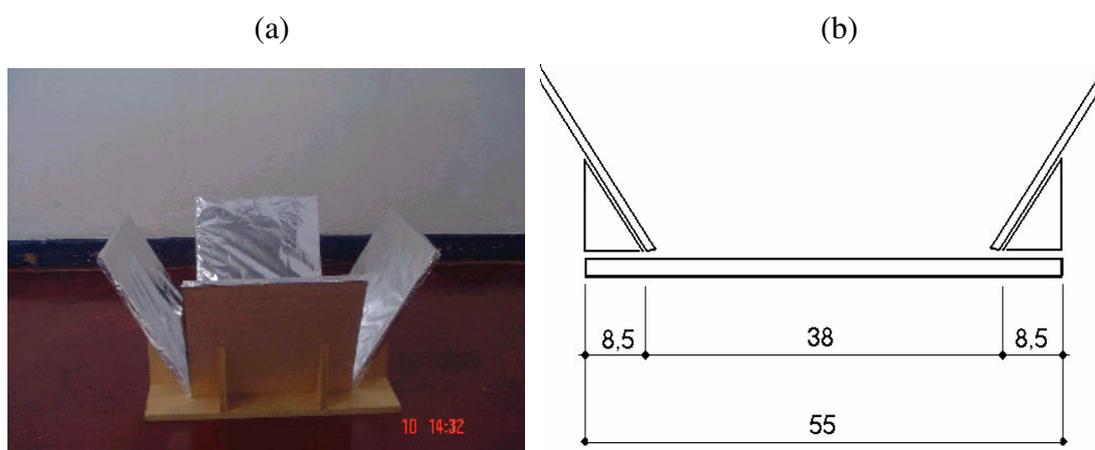


Fig. 2.2 – Concentrador solar proposto pelo IMTA (HERRERA; DOMINGUES, 2003): (a) foto (b) desenho com medidas em cm.

Os estudos de Domingues *et al.* (2006) consistiram em pesquisar o efeito da desinfecção

da água por exposição direta a luz solar durante todo o dia, com e sem concentrador, em garrafas de plásticos transparentes nas seguintes condições: a) totalmente transparentes; b) parcialmente pintadas de preto; c) totalmente negras. As garrafas parcialmente pintadas apresentaram uma pequena melhora na eficiência com relação às garrafas totalmente transparentes, nos dois casos requerendo pelo menos 3.500 Wh/m² para eliminar 99.999% (5–log) de coliformes totais. As garrafas parcialmente pintadas dentro do concentrador solar puderam eliminar acima de cinco unidades logarítmicas com somente 2000 Wh/m². Nas garrafas totalmente pintadas de preto, nos melhores resultados, apresentaram a redução de duas unidades logarítmicas depois de 6 horas de exposição.

Domingues *et al.* (2006), nos testes realizados na comunidade Norogachi estado de Chihuahua, utilizaram diferentes tipos de concentradores solares: a) concentradores de paredes planas (quadrado e retangular); b) dupla parábola. Estes autores observaram que os melhores resultados obtidos foi utilizando o concentrador retangular e as garrafas meio negras, e na comunidade de Santa Lucía, no estado de Oaxaca, não obtiveram em todas as provas 100% de eficiência, devido principalmente a presença de nebulosidade.

Nas pesquisas realizadas por Silva, M. (2004) utilizando garrafas PETs reutilizadas, transparentes, com a metade pintada de preto e concentrador solar proposto pelo IMTA, encontraram uma de redução de 99,89% para os coliformes totais e 100% para *E. coli* para 4 horas de exposição, enquanto que para as amostras sem o concentrador solar obteve-se uma eficiência de 99,56% de coliformes totais e 96,48% de *E. coli* para 6 horas de exposição ao sol, concluindo que o uso do concentrador solar permite reduzir o tempo de exposição ao sol de 6 para 4 horas. Verificaram também que a presença de nuvens reduz a incidência de radiação solar, bem como a eficiência da SODIS, mesmo com a temperatura da água mais elevada durante a desinfecção.

Silva, M. (2004) verificou que a temperatura da água alcançada durante o processo de desinfecção, atuou significativamente no recrescimento bacteriano. As amostras com tempo de exposição de 1 a 2 horas, apresentaram após 24 horas do fim da SODIS, concentrações de coliformes totais e de *E. coli*, tanto superiores como inferiores às concentrações do início do processo, indicando que pode haver o recrescimento bacteriano. Enquanto as amostras com concentradores solares que atingiram uma temperatura média de 70 °C com tempo de exposição de 4 horas, não apresentaram recrescimento das bactérias coliformes totais e *E. coli*.

Resultados obtidos em diferentes estudos (Domingues *et al.*, 2006; SODIS, 2006d) demonstraram que pintar parcialmente as garrafas de preto melhora o aquecimento da água, pois aumenta a absorção da luz infravermelha (Figura 2.3). Experimentos também revelaram

que o tipo e a forma do material usado para apoiar as garrafas de plástico influenciam diretamente no desenvolvimento da temperatura da água. Em garrafas colocadas sobre telhas onduladas do telhado de uma casa, a temperatura de 50 °C foi alcançada 40 minutos antes de outras garrafas que foram colocadas em telhado de concreto (WEGELIN *et al.*, 1998).



Figura 2.3 – Garrafa PET, com a metade de um lado pintada de preto, exposta à radiação solar.

2.3.10 Aplicação em Campo da SODIS e Recomendações para sua Implementação

A efetividade da SODIS foi testada em várias comunidades, em diferentes regiões e condições de estudo. Conroy *et al.* (1999) em seus experimentos de campo, realizados na comunidade de Maasai, pesquisaram a influência da SODIS na redução das doenças de diarreia. Foram escolhidas, aleatoriamente, crianças abaixo de 6 anos para beber água exposta à radiação solar e água de controle que eram mantidas dentro de quartos fechados. Os resultados apresentaram prevalência da diarreia em 48,8% nas crianças que tomaram água desinfetada versus 58,1% nas que tomaram a água de controle. Os autores concluíram assim, que a pequena redução no risco de diarreia nas crianças não foi uma solução clara para o problema, mas diminuiu o risco da doença nas comunidades, que ainda depois de um ano do término das pesquisas, mantinham o uso da desinfecção solar. Esta comunidade de Maasai sofreu uma epidemia de cólera e novos estudos foram realizados para verificar a proteção oferecida pela SODIS contra a cólera, e tiveram como resultado apenas três casos de cólera das 155 crianças que tomavam água desinfetada por radiação solar contra 20 casos de cólera da água de controle (CONROY *et al.*, 2001). Confirmando assim, a importância do uso da SODIS na redução de doenças veiculadas pela água.

Wegelin *et al.* (1998) relataram os testes da SODIS que foram realizados em favelas, em Karachi no Paquistão, para avaliar seu sucesso, aceitabilidade, aplicabilidade e

acessibilidade. Para os testes foram escolhidos dois tipos de garrafas de plástico, água mineral e pepsi, que possuíam boa transmitância para o projeto da SODIS. As garrafas, que tinham metade de um de seus lados pintados de preto, eram oferecidas gratuitamente as casas participantes. Os sacos também foram utilizados, mas tiveram pior aceitação por parte da comunidade devido a sua forma incomum e aparência. Os donos das casas não notaram nenhuma mudança nas características físicas e prontamente aceitaram água tratada, observaram ainda, que havia ocorrido melhoras no quadro de saúde das crianças, que semanalmente apresentavam desordens de estômago e diarreia. Comparado o processo de SODIS com a fervura da água, a aceitação por parte da comunidade foi melhor com relação a SODIS devido à economia de combustível e tempo, menor chance de contaminação durante o resfriamento, facilidade de manipulação das águas desinfetadas, e eliminação do risco de queimaduras. A partir deste estudo foram sugeridas as seguintes medidas para manter a eficiência do processo: a) as garrafas precisavam ser feitas e fornecidas pelas organizações, pois as garrafas feitas pelos donos da casa não estavam adequadamente pintadas; b) as garrafas de água deveriam ser mantidas higienicamente, antes e depois do seu uso, para evitar a contaminação.

Herrera e Domingues nos estudos realizados nas comunidades rurais, em Oaxaca e Chiapas no México, utilizando concentradores solares de paredes planas na desinfecção solar, verificaram que este tipo de tratamento é tecnicamente factível quando usado adequadamente (HERRERA; DOMINGUES, 2003). Estes autores verificaram como vantagem deste método à boa aceitação por parte dos usuários, pois não proporciona um sabor desagradável na água como outros métodos (fervura, cloração), e como desvantagem que não proporciona um efeito residual contra a recontaminação e não assegura qualidade físico-química da água.

O projeto SODIS foi conduzido pelas instituições locais em sete diferentes países (Colômbia, Bolívia, Burkina Faso, Togo, Indonésia, Tailândia e China), para estudar a aceitação sócio-cultural e a disponibilidade deste tratamento. Pesquisas realizadas nestes países revelaram que em média 84% dos usuários continuariam a usar a SODIS depois da conclusão do projeto, cerca de 13% pensam em usar futuramente e, somente 3% rejeitaram a SODIS, alegando que sua saúde não foi afetada pela qualidade da água (SODIS, 2006e).

Para uso da SODIS em comunidades algumas medidas deverão ser tomadas pelos usuários (SODIS, 2006d): a) limpar as garrafas internamente e externamente; b) verificar a estanqueidade das garrafas, inclusive as condições da rosca; c) encher as garrafas completamente com água bruta; d) iniciar a exposição das garrafas ao sol pela manhã, e manter em local que receba irradiação durante todo o dia; e) coletar as garrafas no final da tarde e colocá-la em local seguro para esfriar; f) colocar as garrafas na posição horizontal em suporte

firme e enegrecido, preferencialmente em folhas de ferro ou telhado ondulado; g) consumir a água tratada diretamente das garrafas usando copos limpos; h) usar água com turbidez abaixo de 30 UT; i) agitar a água com baixa concentração de oxigênio dissolvido; j) observar o tempo mínimo de uma hora de exposição se a temperatura da água alcançar 50 °C; l) expor a água por 5 horas durante um dia de sol no caso da temperatura não alcançar os 50 °C requerido; m) para o céu coberto com nuvens expor as garrafas por dois dias consecutivos.

As sugestões acima mencionadas ajudam a alcançar um melhor resultado no processo da SODIS, mas o ideal é que sejam analisadas as características climáticas de cada região e as características físico-químicas e bacteriológicas da água a ser desinfetada.

2.4 Microrganismos Indicadores da Qualidade da Água

A contaminação da água ocorre na presença de substâncias tóxicas ou de organismos patogênicos que transmitem doenças de veiculação hídrica e que oferecem riscos a saúde da população. Os microrganismos patogênicos incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos.

De acordo com a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004) as águas destinadas ao consumo humano devem ser distribuídas à população sem o risco de veiculação de doenças e com condições organolépticas adequadas.

A identificação dos organismos transmissores de doenças pela água requer conhecimentos, recursos e tempo consumidos em exames. Nem todos os organismos são facilmente detectáveis, necessitando assim de técnicas de exame específicos. É impraticável detectar todos os organismos presentes na água, razão pela qual, os organismos indicadores de contaminação são usados para o monitoramento da qualidade da água.

De acordo com Grabow (1993), os requisitos mais importantes para que um organismo seja indicador são: a) estar presente sempre que patogênicos estejam presentes; b) estar presente em mesmo número ou em número superior aos patogênicos; c) ser específico para poluição fecal ou esgoto sanitário; d) detecção simples, rápida e econômica. Outras propriedades são desejáveis, porém o fundamental e mais importante requisito é que os patogênicos possam estar ausentes ou inativados, sempre que os indicadores estejam ausentes ou sejam inativados. Alguns organismos indicadores que cumprem estes requisitos ou parte deles são os coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Streptococcus fecalis* e *Clostridium perfringens*.

No Brasil, a prática de controle microbiológico de qualidade da água de consumo se fundamenta no controle da presença de bactérias do grupo coliformes (DANIEL, 2001). O padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano é estabelecido pela

Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004).

A detecção de coliformes totais e termotolerantes, qualitativamente ou quantitativamente, pode ser realizada pelo método dos tubos múltiplos, contagem em membranas filtrantes e em substratos cromogênicos. O uso de organismos comuns do intestino como indicadores de poluição fecal tem sido universalmente aceito para monitorar e avaliar a segurança microbiológica da água para abastecimento, além de avaliar a eficiência de processos de tratamento da água (WHO, 1996).

A *E. coli* é uma espécie de bactéria do grupo coliforme termotolerante, e é abundante nas fezes humanas e de animais, compreendendo 95% dos coliformes presentes no intestino, tendo sido encontrada somente em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente. Ressalta-se que dentre os coliformes, esta é a única espécie que seguramente provém de fezes humanas ou de animais, pois apresenta como habitat natural o trato intestinal do homem e dos outros animais de sangue quente (WHO, 1996), sendo portanto, considerada como a clássica indicadora da possível presença de patógenos entéricos nas águas. Tornou-se possível nos últimos anos, por meio de testes cromogênicos baseados em expressões enzimáticas, a detecção simples e rápida de *E. coli* e de outras bactérias específicas para fins de monitoramento de mananciais.

Segundo Acra *et al.* (1984) a *E. coli* é mais resistente aos efeitos letais da luz solar que outras bactérias como a *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhie*, *Salmonella enteritidis*, e por isso serve como bom indicador sobre o efeito da luz solar sobre bactérias entéricas.

Os estudos de Wegelin *et al.* (1994) encontraram uma taxa de inativação da *E. coli* similar, em ordem de magnitude, com a do *Streptococcus fecalis* e enterococci, indicando assim que a *E. coli* ou coliformes termotolerantes são indicadores apropriados da eficiência da radiação solar.

De acordo com Daniel (2001), têm-se constatado fragilidade no controle microbiológico, onde os testes de coliformes não garantem a ausência de outros patogênicos mais resistentes que as bactérias nas águas. Por isso os estudos vêm se dirigindo a outras bactérias, como *Campylobacter* e *Aeromonas*, e a protozoários, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, além de diversos tipos de vírus entéricos como indicadores.

O *Clostridium perfringens*, por exemplo, tem sido utilizado como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença detectada em fezes, esgotos e águas poluídas. Por serem esporuladas essas bactérias apresentam grande resistência aos desinfetantes e as condições desfavoráveis do meio ambiente. A excepcional longevidade de seus esporos na água

é útil na detecção de contaminação fecal remota, em situações em que outros indicadores menos resistentes como *E. coli* já não estão mais presentes (CETESB, 1993).

Outros indicadores conhecidos são *Enterococos fecais* e Colifagos. Os *Enterococos* são bactérias indicadoras de contaminação fecal e como não reproduzem em águas poluídas, sua presença é indicativa de contaminação fecal recente. Os Colifagos são bacteriófagos que infectam a *E. coli*, podendo ser indicadores de poluição fecal. Os Colifagos têm sido utilizados como indicadores representativos de contaminação viral e de recente contaminação fecal e de esgoto doméstico (GRABOW, 1993).

As técnicas de detecção de coliformes e *E. coli* são práticas e relativamente rápidas. São vários os métodos disponíveis, dentre eles, tubos múltiplos, contagem em membranas filtrantes e substratos cromogênicos. Um método rápido para detecção e quantificação dos coliformes totais e da *E. coli* é o Colilert, que utiliza a tecnologia do substrato definido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Estudos têm demonstrado (Capítulo 2) a efetividade do uso da SODIS para águas de abastecimento e as variáveis envolvidas no processo, que incluem turbidez, cor, tipos de recipientes, quantidade de radiação, temperatura, condições do tempo, dentre outros. Os experimentos deste estudo foram realizados para examinar os efeitos destas variáveis no processo da SODIS e o seu impacto na inativação dos organismos indicadores *E. coli* e coliformes totais. Este capítulo descreve o desenvolvimento do experimento, incluindo os métodos empregados para análises físico-químicas e biológicas da água e a medição da radiação solar.

3.1 Estrutura de Desenvolvimento do Experimento e Caracterização Local

O trabalho experimental foi realizado em duas fases. Na primeira fase, realizada no período de 15 de março a 23 de maio, a água foi acondicionada em garrafas transparentes e pretas, que foram expostas ao sol sob as mesmas condições de estudo. Manteve-se também garrafas transparentes de controle a uma temperatura constante de 21 °C em uma estufa. Na segunda fase, realizada no período de 29 de maio a 17 de julho, a água foi acondicionada em garrafas transparentes sem concentrador solar e garrafas transparentes combinadas com concentrador solar, e expostas ao sol sob as mesmas condições de estudo.

A primeira fase do trabalho experimental teve como objetivo avaliar o efeito isolado da temperatura, onde utilizou-se garrafas totalmente pintadas de preto que não permitiram a penetração da radiação solar, enquanto que a segunda fase teve como objetivo avaliar o uso do concentrador solar como alternativa para otimizar o processo. As garrafas transparentes, denominadas garrafas de controle, que foram mantidas a temperatura constante (21 °C), serviram para avaliar o crescimento ou o decaimento natural das bactérias.

Na escolha do local para exposição das garrafas ao sol, o requisito indispensável foi a ausência de qualquer elemento que pudesse sombrear as garrafas durante o período de exposição, e assim impedir a incidência da radiação solar. Deste modo foi escolhida uma área próxima ao Laboratório de Saneamento, da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás-UFG, em Goiânia-GO, cuja localização é 16° 40' 43" S (Sul), 49° 15' 14" W (Oeste) e a 802 m de altitude.

Para coletar a água para o experimento foi escolhido um poço raso de 20 m de profundidade, localizado no Jardim Petrópolis, que é um bairro de Goiânia situado em uma área

pouco urbanizada. A opção pelo poço raso de água deve-se ao fato de tratar-se de uma fonte de abastecimento individual, já que a SODIS é um processo mais comumente utilizado para tratamento de água para unidades familiares individuais.

3.2 Materiais Utilizados no Experimento

Para o acondicionamento de água foram utilizadas garrafas PET de 2000 mL, adquiridas após o uso como recipientes de refrigerantes. A garrafa escolhida, dentre as várias opções no mercado, foi da marca Pepsi, por ser transparente, lisa e apresentar uniformidade na forma do recipiente, e ainda devido a sua disponibilidade no mercado local.

As garrafas pretas foram obtidas lixando as garrafas transparentes e pintando com tinta esmalte na cor preto fosco, em duas camadas, de forma a se obter uma cor uniforme conforme ilustra a Figura 3.1.

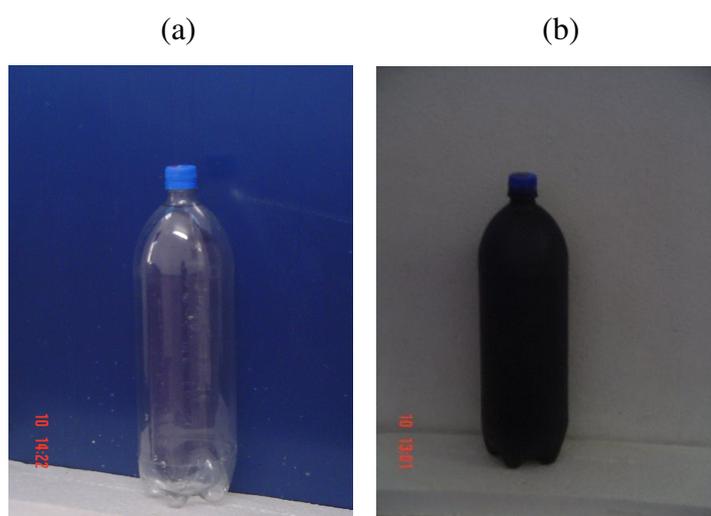
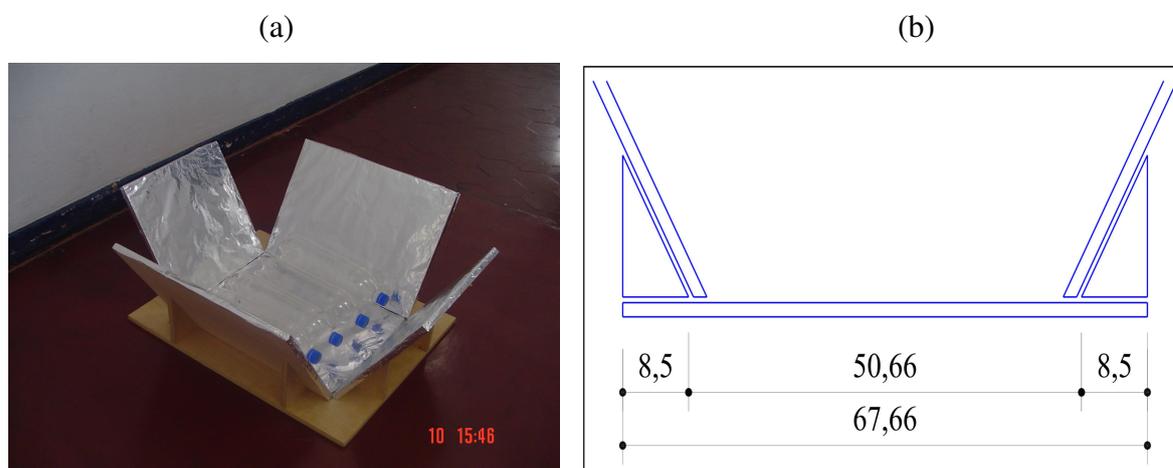


Figura 3.1 – Modelo da garrafa PET utilizada no experimento: a) transparente e b) preta.

O concentrador solar usado neste estudo foi feito de acordo com as medidas propostas por Silva, M. (2004) conforme demonstrado no Quadro 3.1, e tem capacidade para 4 garrafas (Figura 3.2). Foram fabricados três concentradores solares, uma vez que havia dez amostras de garrafas pretas por dia para serem expostas a radiação solar. O modelo do concentrador solar de Silva, M. (2004) foi baseado no modelo proposto pelo IMTA (HERRERA; DOMINGUES, 2003), onde manteve-se as mesmas características geométricas e alterou apenas as medidas da base e de suas aletas, o que permitiu aumentar sua capacidade de três para quatro garrafas.

Quadro 3.1 – Dimensões do concentrador solar

Peças	Quantidade	Dimensões (cm)
Base	1	67,66 x 55,00
Aletas	2	47,66 x 35,00
	2	35,00 x 35,00
Suportes Triangulares	8	8,50 x 15,00 x 17,50

**Figura 3.2–** Concentrador solar: (a) Foto e (b) Desenho com medidas em cm.

O concentrador solar foi confeccionado com madeira compensada de 15 mm e revestido internamente com papel alumínio (Figura 3.2). Para fixação das aletas e suportes triangulares foram utilizados parafusos, enquanto que para fixar o papel alumínio utilizou-se cola.

No início do experimento as aletas do concentrador solar faziam sombra sobre as garrafas, por isso a inclinação do concentrador solar foi ajustada colocando com um suporte retangular de isopor de 10 cm (altura) x 5 cm (largura) x 50 cm (comprimento) sob a base do concentrador solar, evitando assim a formação de sombras sobre as garrafas.

Para apoiar as garrafas e os concentradores solares, foi confeccionado um suporte de telha amianto, apoiado em cavaletes de madeira. A escolha da telha de amianto para compor a base do suporte foi baseada na literatura (WEGELIN *et al.*, 1998). As dimensões da base formada pelas telhas onduladas eram 317 cm x 181 cm. A altura dos cavaletes que apoiavam a base era 58 e 76 cm, proporcionando uma inclinação aproximada de 13% (Figura 3.3).

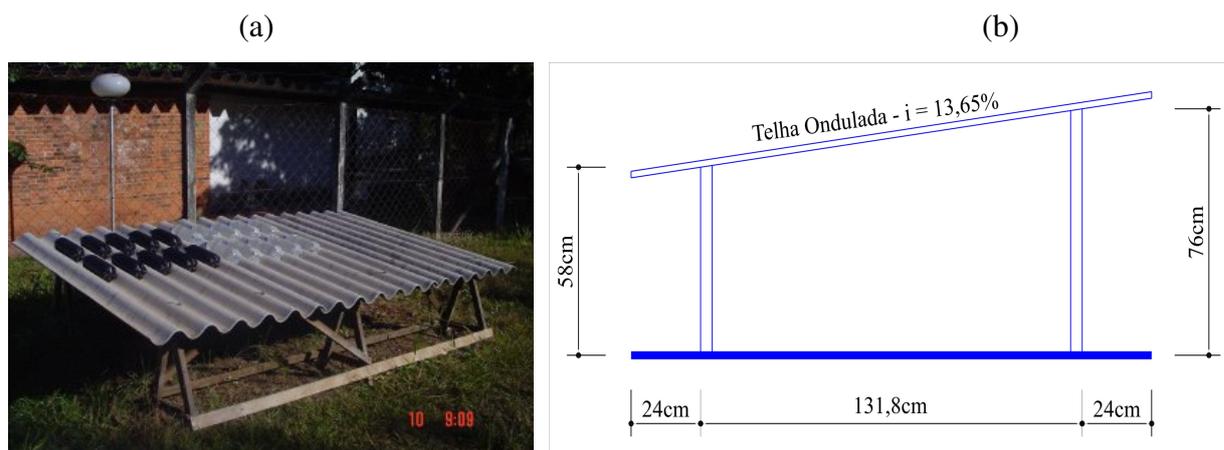


Figura 3.3 – Suporte para as garrafas PET e para o concentrador solar: a) foto e b) desenho com medidas em cm.

3.3 Número das Amostras da Água de Estudo

Durante o trabalho experimental as garrafas e os concentradores solares foram mantidos sobre o suporte de telha amianto durante todo o tempo de exposição ao sol.

As amostras foram expostas ao sol por um período de 6 horas, e o horário escolhido foi das 9:00 às 15:00 horas, considerado ideal para os experimentos, conforme características meteorológicas da região (informação verbal)¹. Durante este período, foram coletadas as amostras e realizados os ensaios em 0, 1, 2, 3, 4 e 6 horas de exposição ao sol, sendo que todas as amostras tinham réplicas.

Durante os quatro meses do experimento, cada água de estudo foi exposta uma vez por semana, sendo que na primeira fase foram 234 amostras, na segunda fase foram 192 amostras, perfazendo um total de 426 amostras ao final do experimento (Quadro 3.2).

3.4 Exames Físico-Químicos da Água e Registro das Condições de Nebulosidade do Céu

Os parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água foram: cor aparente, turbidez, pH, e temperatura da água. As análises físico-químicas da água inoculada nos tempos de exposição (0, 1, 2, 3, 4 e 6 horas) foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil da UFG.

¹ Notícia fornecida por Marcelo C., da Divisão de Satélites e Sistema Ambiental CPTEC/INPE, em julho de 2005.

Quadro 3.2 – Condições e número de amostras da água de estudo.

Números de Amostras	Período de Coleta				
	1º Fase: 15/03 a 23/05/06			2º Fase: 29/05 a 17/07/06	
	GT	GP	GC	GT	GTCc
Números de amostras por experimento	6	6	1	6	6
Números de amostras x 2 (Réplicas) por experimento	12	12	2	12	12
Números de experimentos realizados	10	8	9	8	8
Números de amostras (com réplicas) por experimento x números de experimentos realizados	120	96	18	96	96
Números de amostras por fase	234			192	
Total de amostras	426				

Nota: GT – Garrafas transparentes; GP – Garrafas pretas ; GC – Garrafas de controle; GTCc – Garrafas transparentes combinadas com concentrador solar.

Para medir o pH foi utilizado um medidor da marca Hach modelo DR/890, para a turbidez utilizou turbidímetro da marca Marconi modelo TB 1000, para a cor utilizou-se um colorímetro da marca Tecnal modelo TEC-2. As calibrações destes aparelhos foram feitas conforme as instruções técnicas do fabricante.

Para monitoramento da temperatura da água nas garrafas foi utilizado um termômetro de bulbo de mercúrio. A temperatura da água nas garrafas foi medida imediatamente após sua retirada do sol. A temperatura do ar, nos tempos de exposição, foi medida por meio de um termômetro de máxima e mínima da Incoterm, escala de – 38 °C a + 50 °C, enquanto as temperaturas diárias (máxima, mínima e média) do ar, nos anos 2003, 2004, 2005 e 2006, foram fornecidas pela Escola de Agronomia da UFG, medida na Estação Evaporimétrica de Primeira Classe, localizada a 16° 41" S e 49° 17" W a 741 m de altitude (SILVA, S. *et al.*, 2003, 2004, 2005, 2006).

As condições de nebulosidade do céu foram registradas de hora em hora, e o registro foi baseado na presença ou ausência de nuvens, sol e chuva.

3.5 Preparação da Água de Estudo

O organismo indicador de contaminação da água, utilizado nos experimentos foi a *E. coli*. A realização do experimento abrangeu várias etapas, desde o crescimento da *E. coli* a inoculação da água de estudo. No dia de cada experimento a água de estudo era coleta no poço

raso, e inoculada com uma solução estoque de *E. coli* preparada anteriormente. Após a inoculação, a água de estudo era transferida para as garrafas PET esterilizadas e expostas ao sol.

A solução estoque foi preparada para se obter uma concentração aproximada de $1,5 \times 10^9$ NMP/100mL e a água de estudo 8×10^6 NMP/100mL. A seguir descreve-se o cálculo da concentração de *E. coli* na água de estudo.

3.5.1 Adição da *E. Coli* na Água de Estudo

Para obter uma concentração inicial de 8×10^6 NMP/100mL de *E. coli* na água de estudo, foi calculada a quantidade da solução estoque usando a Equação 3.1, onde C2 é a concentração desejada de bactérias, V2 é o volume da água de estudo, C1 é a concentração de bactérias encontrada na solução estoque e V1 é o volume da solução estoque.

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \quad (3.1)$$

A adição da solução estoque na água de estudo foi feita num único recipiente com capacidade de 50L, para garantir homogeneidade na concentração de *E. coli* em todas as garrafas. Antes da água de estudo ser distribuída nas garrafas, duas amostras de 100 mL eram coletadas para quantificação da concentração inicial de *E. coli* na água de estudo.

3.5.2 Determinação da Concentração de Coliformes Totais e da *E. Coli*

Para identificação e quantificação do número de coliformes totais e *E. coli* viável foi utilizado o método cromogênico, seguindo a rotina patente da Colilert. As amostras de água coletadas das garrafas PETs eram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e homogeneizadas por meio de uma lavadora ultrasônica Unique modelo USC 1400. Este meio de cultura era transferido para as cartelas Quanti-Tray, que eram seladas em uma Seladora Quanti-Tray Sealer Modelo 2X, e em seguida incubadas a 35 °C por aproximadamente 24 horas.

A quantificação do NMP de coliformes totais foi realizada por meio da contagem das cavidades da cartela Quanti-Tray/2000², que adquiriram coloração amarela, após 24 horas de incubação. Para a quantificação da *E. coli*, foram utilizadas as mesmas cartelas dos coliformes

² A Quanti-Tray/2000 é uma cartela plástica aluminizada estéril, descartável, com 97 cavidades para quantificação de bactérias utilizando o Colilert. A contagem nas cartelas é de até 2.419,6 NMP/100 mL sem diluição. Após a incubação das cartelas, o número de cavidades positivas é convertido ao NMP através de uma tabela de conversão que acompanha o equipamento (IDEXX, 2006).

totais, porém estas cartelas foram colocadas sob uma lâmpada ultravioleta (comprimento de onda de 360 nm) portátil, onde as cavidades positivas contadas foram as que apresentaram uma cor amarela/fluorescente (IDEXX, 2006). Após a contagem das células da cartela utilizou-se a tabela Quanti-Tray/2000 para determinação do NMP/100 mL dos coliformes totais e *E. coli*.

Considerando que a contagem nas cartelas era no máximo 2.419,6 NMP/100mL, e a concentração inicial aproximada da *E. coli* na água de estudo era de 8×10^6 NMP/100 mL, foi necessário fazer uma série de diluições conforme a expectativa de desinfecção da água. Normalmente as primeiras amostras retiradas do sol e as amostras dos dias muito nublados tinham que ser mais diluídas (10^{-2} a 10^{-6}). A diluição da amostra era feita com água destilada e autoclavada a 120 °C por 20 minutos.

Todo o processo de análise bacteriológica, desde a homogeneização do meio de cultura até a transferência para as cartelas, era realizado em ambiente estéril para evitar a contaminação das amostras.

3.5.3 Métodos Analíticos

A metodologia constante neste item foi baseada nos estudos de Rojko (2003), que também estudou SODIS. Algumas modificações foram feitas para adaptar a metodologia às condições de tempo de realização deste experimento, e equipamentos disponíveis. Todas as etapas do experimento foram feitas utilizando técnicas assépticas. As vidrarias como as pipetas, os erlenmeyers, as placas de Petri, as soluções e os meios de cultura foram esterilizados em autoclave a 120 °C por 20 minutos.

3.5.3.1 Cultura da *E. Coli*

A cultura estoque líquida da *E. coli* era preparada para contaminar artificialmente a água de estudo para cada experimento. A cultura estoque líquida foi preparada a partir de uma outra cultura de *E. coli* denominada de cultura estoque congelada da *E. coli*.

3.5.3.1.1 Cultura Estoque Congelada da *E. coli*

A cultura liofilizada de *E. coli* ATCC (American Type Culture Collection) 8739 que foi reidratada e repicada em 5 mL de TSB (do inglês, Tryptic Soy Broth), depois foi passada em

um meio Mconkey³ e incubado por 24 horas a 35 °C. Do meio Mconkey foi retirada uma alçada e repicada novamente em 10 ml de TSB, que foi incubado a 35 °C por 48 horas. Foi preparado 10 mL de glicerol (40%) e autoclavado a 120 °C por 20 minutos. Após 48 horas de incubação, a solução de TSB com *E. coli* foi removida da incubadora, onde 0,5 mL desta solução foi transferida para cada um dos microtubos estéreis (20 unidades), que em seguida recebeu mais 0,5 mL do glicerol 40%. Os microtubos com a solução estoque foram conservados em um freezer a -20 °C .

3.5.3.1.2 Cultura Estoque Líquida

Para cada experimento foram preparados dois erlenmeyers estéreis de 250 mL com 100 mL de TSB cada, inoculados com 8 alçadas da cultura estoque congelada, cujo preparo foi detalhado no item 3.5.3.1.1. Depois de inoculada a solução de TSB, os frascos eram colocados na incubadora *Shaker New Brunswick Scientific C24KC*, a uma rotação de 100 rpm a 35 °C, durante um período de 16 a 18 horas. Os erlenmeyers de 250 mL com TSB foram autoclavados e mantidos na incubadora a 35 °C por 24 horas, antes de serem inoculados. Este procedimento foi realizado para verificar se a solução não estava contaminada.

Após o período de 16 a 18 horas os erlenmeyers com a solução de *E. coli* eram retirados da incubadora shaker, e todo o seu conteúdo era transferido para tubos estéreis de centrífuga, e centrifugados a 4000 rpm por 30 minutos, formando assim um *pellet* no fundo de cada tubo. O caldo precipitado do tubo era descartado e o *pellet* resuspenso em 150 mL de PBS de 0,01M (Molar), denominada de cultura estoque líquida. A cultura estoque líquida, ou cultura estoque, continha aproximadamente 15×10^8 células/mL.

3.5.3.1.3 Quantificação da *E. Coli* na Cultura Estoque Líquida – Método do Pour Plate

Para quantificar a concentração de bactéria *E. coli* viável na cultura estoque líquida, foi usado o método do Pour Plate conforme método 9215 B do Standard Methods (APHA *et al.*, 1998). Para plaqueamento de 1 mL de cultura estoque foram feitas no mínimo três diluições, onde foi considerado que o número de bactérias viáveis estivessem entre 30-300 ufc (unidades formadoras de colônias) por placa.

As diluições foram feitas diluindo 1 mL da cultura estoque líquida em 9 mL do PBS (do

³ O meio Mconkey é um meio de cultura rico para crescimento da *E. coli*.

inglês, phosphate buffered saline) de 0,01M (Molar), resultando na diluição 10^{-1} . Desta retirava-se 1 mL e diluía em 9 mL de PBS de 0,01M, que resultava na diluição 10^{-2} , e assim foram feitas as diluições sucessivamente até se obter as diluições 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} e 10^{-9} , que foram as diluições mais utilizadas no experimento. Para cada diluição foram feitas no mínimo três réplicas.

De cada diluição era retirado um volume de 1 mL e pipetado no centro da placa de Petri, que recebia aproximadamente 15 mL de TSA (do inglês, tryptic soy agar) por cima. Foram feitos movimentos horizontais, em forma de um oito, com as placas para homogeneizar a amostra e o TSA, que após 5 minutos se solidificava. As placas de Petri eram então tampadas, invertidas e incubadas a 35 °C por aproximadamente 24 horas na incubadora. Após este período as colônias viáveis eram contadas a olho nu.

Todos os materiais usados, placas, erlenmeyers, pipetas e outros, foram autoclavados a 120 °C por 20 minutos, e a manipulação destes materiais, soluções e meio de cultura eram feitos em ambiente estéril.

3.5.3.2 Preparação dos Meios de Cultura e Soluções

Os próximos itens relatam detalhadamente a preparação do TSB usado no crescimento da *E. coli*, do TSA na enumeração da *E. coli*, e do PBS nas diluições e resuspensão do *pellet*.

3.5.3.2.1 Meio de Cultura Líquido - TSB

A solução de TSB, utilizada no crescimento da *E. coli*, foi preparada de acordo com as recomendações do fabricante, DIFCO, que recomenda 30 g do meio desidratado para 1000 mL de água destilada. Para cada experimento foi preparado 200 mL de TSB, que foi distribuído igualmente em dois erlenmeyers de capacidade de 250 mL. Estes erlenmeyers contendo a solução de TSB eram fechados com tampões de algodão e autoclavados a 120 °C por 20 minutos. Depois de autoclavados, as soluções de TSB eram conservadas no refrigerador (- 4 °C) por no máximo três semanas, conforme indicado por Rojko (2003).

3.5.3.2.2 Meio de Cultura Sólido - TSA

O TSA utilizado na preparação do meio de cultura para enumeração da *E. coli*, foi preparado usando o TSB, cuja forma de preparo foi citada no item 3.5.3.2.1. Na preparação do

TSA para cada 1000 mL de TSB adicionava-se 18 g de ágar desidratado (Bacto Agar da DIFCO). O TSA era distribuído em erlenmeyers, que eram fechados com tampões e autoclavados a 120 °C por 20 minutos, e depois de resfriados eram conservados no refrigerador (-4 °C) por no máximo 4 semanas, conforme indicação de Rojko (2003). Antes de ser usado nas placas de Petri o TSA, conservado no refrigerador, era re-autoclavado por 20 minutos para liquefazer-se, e depois era colocado em banho-maria a 47 °C por aproximadamente 30 minutos.

3.5.3.2.3 Solução de PBS

A solução de PBS foi usada nas diluições da cultura estoque líquida e na resuspensão do *pellet*. No preparo da solução PBS de 0,1 M, conforme indicações de Rojko (2003), adicionou-se 80 g NaCl, 2 g KH₂PO₄, 2 g de KCl, e 11,56 g de Na₂HPO₄ em 1000 mL de água destilada. O pH de aproximadamente 7,2 a 7,4 foi verificado em um medidor de pH (Orion modelo 420A). A solução de PBS foi estocada por no máximo 4 semanas. A solução de PBS 0,1 M foi diluída para obter uma solução de 0,01 M, que foi a concentração usada nos experimentos. A quantidade de solução de PBS de 0,01 M distribuída nos erlenmeyers era de acordo com a finalidade do seu uso para cada experimento. Esta solução foi autoclavada a 120 °C por 20 minutos, e conservada no refrigerador por no máximo 4 semanas. Antes de ser usada no experimento esta solução era retirada do refrigerador na quantidade apropriada, e deixada em temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas, para verificar sua esterilidade.

3.6 Esterilização das Garrafas PET

A esterilização das garrafas PET era iniciada pelo menos 72 horas antes da hora inicial (9:00 horas) da exposição das garrafas ao sol. Foram utilizadas as mesmas garrafas transparentes durante todo o experimento, por isso era necessário garantir a esterilização destas garrafas após cada experimento. Primeiro as garrafas foram preenchidas completamente com água clorada de torneira e 2 colheres de sopa (4 mL) de hipoclorito de sódio comercial e conservadas por 24 horas, depois esta água era descartada e novamente as garrafas eram preenchidas com água clorada de torneira, que após 24 horas era descartada e as garrafas eram preenchidas com água destilada e conservadas por no mínimo 24 horas (informação verbal)⁴. Esta água destilada só era descartada na hora de encher a garrafa com a própria água de estudo.

⁴ Doutora Ina de Souza Nogueira é professora na UFG, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral

3.7 Rotina de cada Experimento

A água de estudo era coletada do poço raso no mesmo dia do experimento, com aproximadamente 3 horas de antecedência ao início do experimento (9:00 horas), e transportada em dois recipientes, galões com capacidade volumétrica de 30.000 mL e 60.000 mL. Os recipientes para coleta e transporte da água foram esterilizados utilizando o mesmo procedimento das garrafas PET, detalhado no item 3.6. Após a coleta, a água era transportada para o Laboratório de Saneamento, onde era inoculada com a cultura estoque líquida, preparada anteriormente e conservada no refrigerador. Antes de ser adicionada à cultura estoque, a água de estudo era passada para um único recipiente (60.000mL), com o objetivo de alcançar a mesma concentração de *E. coli* na água.

Depois de adicionada a cultura estoque, a água de estudo era homogeneizada por meio de movimentos circulares, feitos manualmente por aproximadamente 5 minutos, e distribuída igualmente nas garrafas PET de 2.000 mL. As garrafas PET eram completamente preenchidas com a água de estudo. Duas amostras da água inoculada eram retiradas para as análises físico-químicas e bacteriológicas, antes da exposição ao sol. A enumeração da *E. coli* nesta amostra, permitia a confirmação da concentração inicial da *E. coli*. ($t = 0$).

Às 9:00 horas todas as garrafas estavam preenchidas com a água de estudo e eram expostas a radiação solar. Em erlenmeyers de 125 mL, autoclavados a 120 °C por 20 minutos e tampados com tampões de algodão, as amostras da água de estudo eram coletadas de hora em hora e armazenadas no refrigerador (-4 °C). Todas as análises físico-químicas (Item 3.4) eram realizadas durante o período de exposição das garrafas. A análise bacteriológica das amostras, por meio do método Colilert, era realizada no Laboratório de Enzimologia da Escola de Farmácia da UFG, após a retirada da última garrafa do sol.

3.8 Cálculo e Medição da Radiação Solar

Devido à falta de sensores para medir a R-UVA na região de Goiânia, e ao elevado custo para aquisição destes sensores, os valores da R-UVA para este estudo foram calculados e fornecidos pela Dr. Marcelo Corrêa, que utilizou um modelo teórico computacional chamado UVGAME (CORRÊA, 2003). De acordo com Corrêa (2003), o cálculo da R-UVA por meio deste modelo computacional, só pôde ser aplicado para os dias de céu claro porque a avaliação teórica da R-UV em dias com nuvens não fornecem resultados confiáveis.

Os dados horários da radiação solar total do ano de 2004 e 2005 foram fornecidos pelo

Sistema de Meteorologia de Goiás – SISMEGO e do ano de 2006 pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, obtidos por meio da estação automática, localizada no setor Jaó em Goiânia.

3.9 Transmitância da Radiação Ultravioleta nas Garrafas PET e no Vidro

A transmitância da radiação ultravioleta e visível nas garrafas PET transparente, verde e no vidro transparente foram avaliadas. Foram recortadas lâminas de 1,0 x 3,4 cm da garrafa PET transparente e verde, para avaliar a transmitância das mesmas, na região do ultravioleta e do visível. As lâminas foram colocadas em cubetas de quartzo, rente à face interna de incidência do raio luminoso do espectrofotômetro marca Micronal modelo B-582 e completadas com água destilada, sendo que foi usada uma cubeta de quartzo preenchida somente com água, para a calibração do equipamento. Para se avaliar a transmitância do vidro frente aos comprimentos de onda em estudo, usou-se uma cubeta de vidro (Micronal) preenchida com água destilada. As varreduras foram feitas, no geral, em intervalos de 10 nm e em temperatura ambiente.

3.10 Identificação dos Microrganismos Resistentes a SODIS nas Amostras da Água de Estudo

O processo de identificação dos microrganismos nas amostras da água de estudo, que não foram eliminados pela SODIS, ocorreu basicamente em duas etapas: a) aplicação da técnica de coloração (PELCZAR *et al.*, 1996) e observação microscópica das células de bactérias presentes nas amostras; b) aplicação do sistema de identificação BBL CRYSTAL para Gram-positivos (IMAI, 1996).

As características das amostras coletadas para a identificação dos microrganismos são apresentadas no Quadro 3.3. As amostras A, B e C foram retiradas das garrafas transparentes sem o uso do concentrador solar.

Quadro 3.3 – Características das amostras da água de estudo selecionadas para identificação dos microrganismos resistentes a SODIS.

Amostras	Data do Experimento	Horário de retirada da amostra do sol	Diluição efetuada na amostra
A	19 - junho	15:00	Sem diluição
B	26 - junho	15:00	Sem diluição e 10^{-1}
C	03 - julho	15:00	Sem diluição, 10^{-2} e 10^{-3}

As colônias originadas das amostras A, B e C, isoladas em placas de Petri no meio de cultura TSA e incubadas por aproximadamente 24 horas, foram fixadas em lâminas de vidro desengorduradas com álcool 70%. A fixação das colônias nas lâminas de vidro foi feita espalhando uma gota de salina estéril sobre as lâminas de vidro e utilizando uma alça de platina previamente flambada para cada colônia, na chama do bico de Bunsen. Fixou-se o esfregaço pelo calor, passando rapidamente a lâmina no bico de Bunsen por três vezes.

Depois de fixadas as colônias nas lâminas de vidro, foi aplicada a técnica de coloração. Primeiro cobriu os esfregaços da cultura com uma solução de Violeta Genciana Cristal (VC), deixou atuar por um minuto. Depois lavou as lâminas com água corrente e cobriu-as com Lugol,⁵ deixou atuar por um minuto, em seguida lavou com água corrente. Após a lavagem aplicou o álcool-cetona gota a gota até não sair mais corante⁶. Lavou as lâminas, em seguida, com água corrente e tornou a corar a preparação durante 30 segundos com uma solução de Safranina diluída⁷. Por último escorreu o corante, lavou as lâminas com água corrente e secou com papel absorvente, sem esfregar.

Depois da coloração das lâminas, estas foram levadas para o microscópio óptico de campo claro com lente objetiva de imersão (x100), onde foram identificadas como Gram-positivas as colônias de cor violeta escuro, ou Gram-negativas as colônias de cor-de-rosa, e ainda foram caracterizadas morfológicamente como bacilos ou cocos.

O kit BBL CRYSTAL Gram Positivo, utilizado na segunda fase da identificação, era composto dos seguintes materiais: 20 tampas do painel, 20 bases, 2 bandejas de incubação, 1 cartão de reação BBL CRISTAL Gram Positivo e 20 Fluidos para inóculo BBL CRYSTAL Gram Positivo, contendo cada um aproximadamente $2,3 \pm 0,5$ mL de Fluido para inóculo.

Várias colônias de semelhante morfologia, retiradas das placas de Petri, foram transferidas para cada tubo com Fluido para Inóculo, utilizando técnica asséptica e alça de platina esterilizada. O tubo foi tampado e agitado por 10 a 15 segundos, onde a turbidez foi equivalente a escala de McFarland nº 0,5. Em cada tubo era anotado o número da amostra da água de origem. Depois todo o conteúdo (Fluido de Inóculo) que estava no tubo era transferido para uma base de um painel que recebia a mesma identificação do tubo. Em seguida, estas bases contendo o fluido eram cuidadosamente fechadas com tampas e colocadas em bandejas de incubação. As bandejas com os painéis foram colocados em uma incubadora (35 – 37 °C) por

⁵ O iodo da solução de Lugol forma um complexo insolúvel com o corante primário. O complexo violeta de cristal-iodo (VCI) tem uma cor mais intensa (violeta escuro) do que o VC livre e é mais difícil de remover das células.

⁶ Este é o passo de diferenciação entre bactérias Gram-negativas e Gram-positivas. As primeiras perdem o complexo VC-I e as últimas retêm-no. As células de bactérias Gram-positivas ficam, pois, coradas de violeta – escuro e as Gram-negativas ficam incolores.

⁷ As células incolores de bactérias Gram-negativas ficam coradas de cor-de-rosa (cor do contra-corante safranina).

um período de 18 a 24 horas. Foram colocados algodões umidificados nas bandejas, para impedir a evaporação do Fluido de Inóculo durante a incubação.

Após o período de incubação, os painéis foram retirados da incubadora. Os orifícios nos painéis são examinados quanto a alterações de cor ou presença de fluorescência que sejam resultantes das atividades metabólicas dos microrganismos. O padrão de cor resultante das 29 reações é convertido em um número, por meio de um perfil de dez dígitos, o qual é utilizado como base para se proceder à identificação.

Com o número do perfil resultante e a morfologia celular encontrada pela coloração de Gram, por meio de um livro eletrônico de Códigos para o Sistema BBL CRYSTAL Gram Positivo obteve-se a identificação dos microrganismos da água, assim como o nível de confiança (%) com relação a estes resultados.

3.11 Análise do Fitoplâncton na Água de Estudo

Para as amostras da água de estudo no tempo de exposição: $t = 0$ e $t = 6$ horas no período de 15 de março a 29 de maio, foram feitas análises do fitoplâncton para verificar a existência de algas e estimar a sua densidade. As análises do fitoplâncton nas amostras foram realizadas pela Professora Ina de Souza Nogueira⁸, utilizando o método de Utermöhl (1964) em microscópio invertido Zeiss Axiovert 125 a 450 aumento.

A primeira amostra ($t = 0$ hora) foi coletada diretamente do recipiente onde foi inoculada a água de estudo, e a segunda amostra foi coletada de uma das garrafas transparentes retiradas do sol às 15:00 horas. Para cada amostra foi coletado um volume de 100 mL em frascos de cor escura com capacidade para 200 mL. A fixação das amostras foi feita com 5 gotas de lugol acético para cada 100 mL, e as amostras foram conservadas ao abrigo da luz.

⁸ Doutora Ina de Souza Nogueira é professora na UFG, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presença de nuvens durante o período de exposição reduz à radiação solar, bem como a efetividade da SODIS (SODIS, 2006f; SOMMER *et al.*, 1997; SILVA, M. 2004; ACRA *et al.*, 1984), por isso, para análise dos resultados os experimentos foram agrupados de acordo com os dias que apresentavam condições de nebulosidade semelhantes, formando quatro lotes distintos demonstrados no Quadro 4.1, cujos critérios foram presença ou ausências de nuvens e sol durante o período de exposição. Este agrupamento foi baseado na classificação do tempo utilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (CEPTEC, 2006).

Quadro 4.1 – Classificação dos dias do experimento, de acordo com as condições de nebulosidade do céu.

Classificação do céu	Cobertura do céu	Dias do Experimento
Encoberto	Céu totalmente encoberto, sem aberturas de sol.	15 de março, 17 de abril e 03 de julho.
Nublado	Muitas nuvens com curto período de sol.	22 de março, 27 de março, 01 de maio.
Parcialmente nublado	Sol entre poucas nuvens.	11 de abril, 08 de maio, 15 de maio, 23 de maio, 12 de junho, 19 de junho, 26 de junho, 17 de julho.
Claro	Sol durante todo o período. Ausência de nuvens.	24 de abril, 29 de maio, 05 de junho, 10 de julho.

4.1 Análise do Fitoplâncton

Os valores da concentração do fitoplâncton nas amostras analisadas, conforme descrito no item 3.11, foram incipientes (menor que 10 cels.mL⁻¹), isto em decorrência de não ser um manancial de superfície e a não recepção de iluminação, que permitiria o desenvolvimento das algas. As poucas células observadas nos frascos de água bruta não se desenvolveram após a exposição solar, conforme analisado nas amostras de água retirada do sol às 15:00 horas.

4.2 Transmitância da Radiação através das Garrafas PET e do Vidro

A transmitância da radiação na região do ultravioleta e do visível, através do politereftalato (PET) transparente e verde, e do vidro transparente foram testados, e os resultados estão demonstrados na Figura 4.1. O PET transparente começou a transmitir luz no comprimento de onda de 320 nm (6,5%), aumentando significativamente a transmitância até o comprimento de onda aproximado de 380 nm (80,4%), após este valor houve uma tendência à estabilização. Comportamento similar ocorreu para o vidro, que começou a transmitir luz no comprimento de onda de 290 nm (0,8%) e apresentou tendência a estabilização no comprimento de onda de 350 nm (95,1%). A curva do PET verde, que também transmitiu a luz a partir do comprimento de onda de 320 nm (2%), apresentou maior desuniformidade na sua formação.

A partir de 340 nm, o PET transparente permitiu uma transmitância acima de 60 %, conforme citado na literatura por Wegelin *et al.* (2000), o PET verde 40,4 % e o vidro 89,9 % (Figura 4.1). Para o comprimento de onda de 400 nm a transmitância foi de 84 % para o PET transparente, 97,6 % para o vidro e 81,1 % para o PET verde, demonstrando assim, que os maiores valores de transmitância ocorreram para o vidro, depois para o PET transparente e em seguida para o PET verde (Figura 4.1). Estes resultados confirmam o registro de Acra *et al.* (1984) que apontam os recipientes incolores, de plástico ou de vidro, como as melhores escolhas para a desinfecção solar porque eles transmitem a luz na região ultravioleta de 320 – 400 nm. Sendo a luz UV-A a principal responsável pela desinfecção solar, na região de 320 – 400 nm, e secundariamente a luz violeta, na região de 400 – 425 nm (Wegelin *et al.*, 1994) pode-se admitir, a partir dos resultados encontrados, que os materiais de plástico e vidro permitem a transmitância nestes comprimentos de onda (320 – 425 nm).

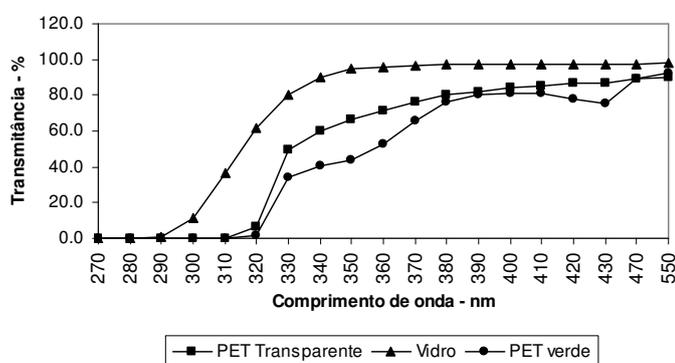


Figura 4.1 – Transmitância da radiação ultravioleta e visível através do politereftalato (PET) transparente, verde, e do vidro transparente.

4.3 Comportamento da Temperatura da Água de Estudo

A água bruta inoculada com *E. coli*, originária do poço raso de água, apresentou parâmetros com os seguintes valores médios: turbidez de 2,4 UT, cor aparente de 36,2 uC, pH de 6,6 e temperatura de 24 °C. O valor da turbidez da água inoculada está em conformidade com o valor limite indicado pela literatura (< 30 UT) para a realização efetiva da SODIS (WEGELIN *et al.*, 1994).

A temperatura da água nas garrafas foi medida de hora em hora, no momento da retirada das amostras do sol. A temperatura da água variou conforme as condições de nebulosidade, tempo de exposição e o tipo de recipiente utilizado (Quadro 4.2 e Apêndice A). As amostras da água de estudo expostas ao sol apresentaram os seguintes valores médios: pH de 6,6; cor aparente de 36,9 UC e turbidez de 2,1 UT.

Quadro 4.2 – Temperatura (°C) mínima, máxima e média da água exposta a radiação solar sob condições de nebulosidade variadas.

Data	Garrafas Transparentes (GT)			Garrafas Pretas (GP)			GT com Concentrador Solar (GTCc)		
	Tmín	Tmáx	Tmed	Tmín	Tmáx	Tmed	Tmín	Tmáx	Tmed
Céu encoberto									
15-mar	24.0	28.9	26.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
17-abr	24.0	30.5	26.1	25.0	37.0	27.8	NA	NA	NA
03-jul	23.0	30.0	26.9	NA	NA	NA	23.0	30.0	26.8
Céu nublado									
22-mar	23.8	37.3	32.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
27-mar	24.5	40.5	33.6	24.5	45.0	37.1	NA	NA	NA
01-maio	24.0	38.5	29.6	24.0	46.5	34.1	NA	NA	NA
Céu parcialmente nublado									
11-abr	25.0	42.5	33.9	25.0	48.5	38.3	NA	NA	NA
08-maio	23.5	38.5	32.6	23.5	48.3	38.8	NA	NA	NA
15-maio	24.0	40.5	33.6	24.0	48.0	38.6	NA	NA	NA
23-maio	24.0	39.0	32.6	24.0	47.0	37.8	NA	NA	NA
12-jun	23.0	41.5	34.2	NA	NA	NA	23.0	45.5	36.1
19-jun	24.0	39.0	31.5	NA	NA	NA	24.0	40.5	32.9
26-jun	24.0	39.0	32.9	NA	NA	NA	24.0	41.3	35.4
17-jul	24.0	38.5	32.6	NA	NA	NA	24.0	40.0	34.6
Céu claro									
24-abr	25.0	42.5	35.3	25.0	51.5	42.2	NA	NA	NA
29-maio	23.0	41.8	34.4	NA	NA	NA	23.0	45.0	35.3
05-jun	24.0	38.5	32.8	NA	NA	NA	24.0	44.0	35.3
10-jul	24.0	43.0	35.4	NA	NA	NA	24.0	45.5	36.9

Nota: NA = Não avaliado.

Houve pequena variação na temperatura média diária da água nas garrafas transparentes com concentrador solar e das garrafas transparentes sem o concentrador solar para as condições de céu encoberto, por isso os gráficos da Figura 4.2 da temperatura da água das garrafas transparentes com e sem concentrador solar estão sobrepostos. No entanto, mesmo sem sol, as garrafas pretas apresentaram 1,7 °C (Quadro 4.2) a mais na temperatura média diária da água do que às garrafas transparentes nas mesmas condições de estudo (Figura 4.3). Isto ocorreu devido ao aumento da absorção da radiação infravermelha pela tinta preta (Domingues *et al.*, 2006), usada na pintura das garrafas. Para os dias de céu nublado a temperatura diária da água nas garrafas pretas foi em média 4 °C superior a das garrafas transparentes nas mesmas condições de estudo (Quadro 4.2).

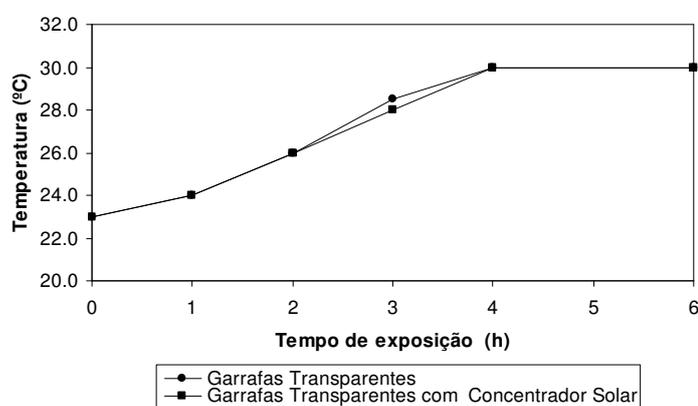


Figura 4.2 – Variação da temperatura da água em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimento do dia 03 de julho. Céu encoberto.

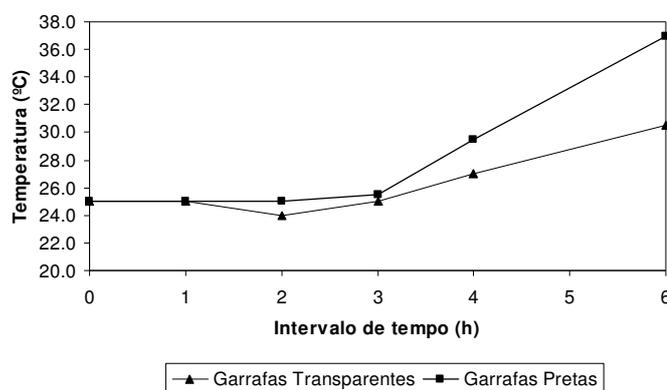


Figura 4.3 - Variação da temperatura da água em função do tempo de exposição nas garrafas pretas e nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento do dia 17 de abril. Céu encoberto.

Nos dias de céu parcialmente nublado, a diferença entre as temperaturas diárias da água nas garrafas pretas e transparentes foi em média 5,2 °C maior para as garrafas pretas, e nos dias de céu claro está diferença foi de 6,9 °C (Quadro 4.2). Assim, as temperaturas médias diárias da água nas garrafas pretas, no período de exposição, foram sempre superiores as das garrafas transparentes, até mesmo para os dias de céu encoberto (Figura 4.3 e Figuras 1 a 18 do Apêndice B), indicando que a pintura total das garrafas com tinta preta aumenta a temperatura da água. A diferença nos valores da temperatura da água das garrafas transparentes e das garrafas pretas é maior para os dias de menor nebulosidade.

Nos dias com céu parcialmente nublado e claro, a temperatura diária da água nas garrafas transparentes com concentrador solar aumentou em média 1,8 °C a mais que as garrafas sem o concentrador solar (Quadro 4.2). A Figura 4.4 ilustra a diferença (1,6 °C) entre os valores da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar e com concentrador solar, com valores de determinação muito próximos a um, sendo $R^2 = 0,9883$ para garrafas transparentes com o concentrador solar e $R^2 = 0,9953$ para as garrafas transparentes sem o concentrador solar. Estes resultados indicam que o uso do concentrador solar aumenta a temperatura da água.

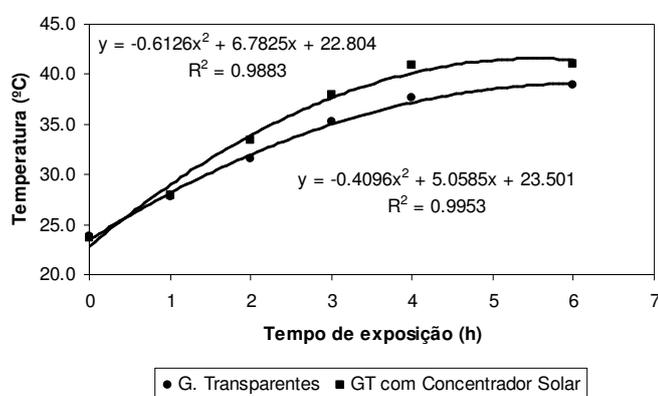


Figura 4.4 – Comportamento da temperatura média da água para as garrafas transparentes sem e com concentrador solar no tempo de exposição.

A temperatura diária máxima da água (Quadro 4.2), nos lotes de garrafas transparentes sem concentrador solar (43 °C), nas garrafas transparentes com o concentrador solar (45,5 °C) e nas garrafas pretas (51,5 °C), seguindo o comportamento esperado, foi alcançada nos dias de céu claro, pois Sommer *et al.* (1997) registraram que mais nuvens no céu implicam em menores temperaturas. Isto está visível também nas Figuras 4.5 e 4.6, que permite a comparação das temperaturas médias da água, no tempo de exposição, em dias com diferentes

condições de nebulosidade para as garrafas transparentes sem e com concentrador solar.

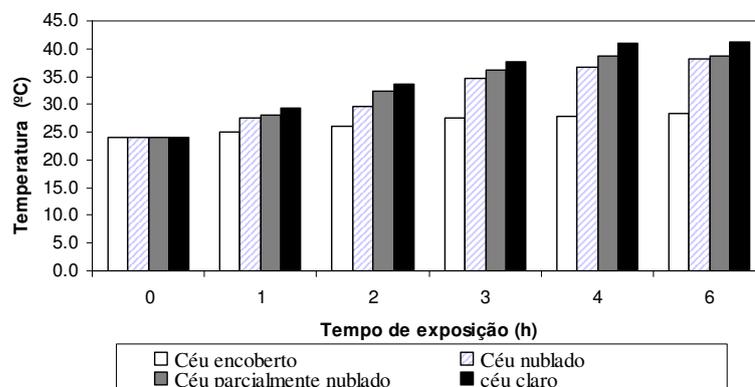


Figura 4.5 – Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar em função do tempo de exposição, para dias de céu encoberto, nublado, parcialmente nublado e claro.

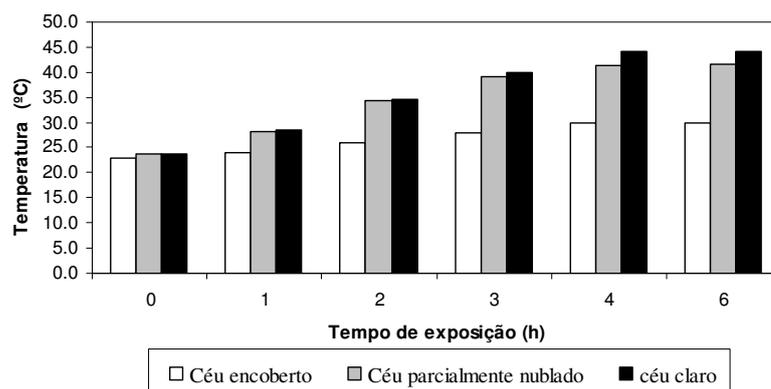


Figura 4.6 – Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes com concentrador solar em função do tempo de exposição, para dias de céu encoberto, nublado, parcialmente nublado e claro.

Observando os gráficos das Figuras 4.7 a 4.9 nota-se que as curvas de aumento da temperatura da água nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar apresentaram menor variação de um dia para o outro nos dias com ausência ou presença reduzida de nuvens do que nos dias de céu encoberto e nublado, durante o período de exposição. Este resultado sugere uma melhor previsibilidade do comportamento da temperatura para os dias de céu claro ou parcialmente nublado do que para os dias de céu encoberto e nublado. Comportamento similar aconteceu para as garrafas pretas (Figura 1 e 2 do Apêndice C).

Durante as quatro primeiras horas de exposição à temperatura da água nas garrafas transparentes, nos dias de céu claro ou parcialmente nublado, apresentou um crescimento

próximo a linearidade, a partir daí apresentou uma tendência à estabilização (Figuras 4.8 e 4.9).

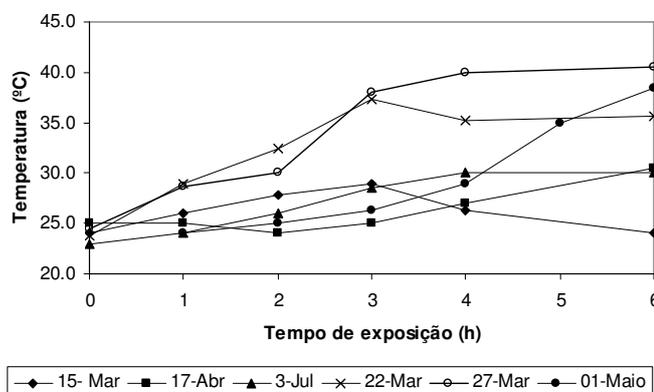


Figura 4.7 – Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu encoberto e nublado.

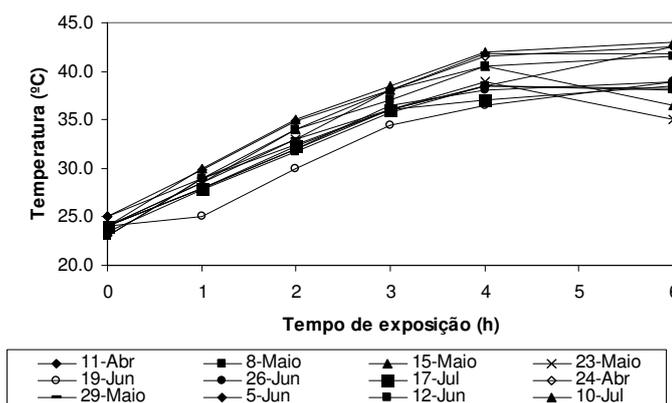


Figura 4.8 – Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu claro e parcialmente nublado.

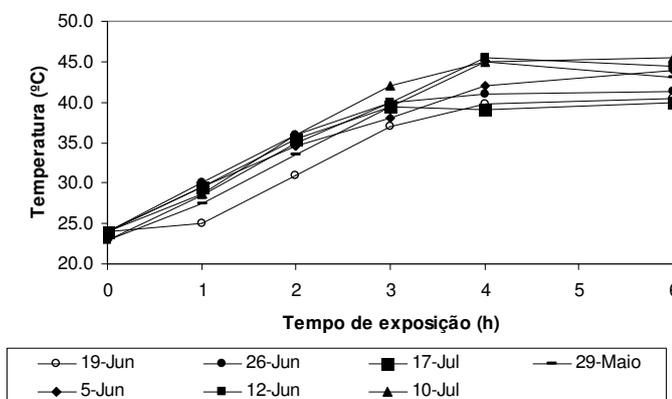


Figura 4.9 – Variação da temperatura média da água nas garrafas transparentes com concentrador solar em função do tempo de exposição, para os dias de céu claro e parcialmente nublado.

4.4 Comportamento da Temperatura do Ar

Com relação à variação sazonal, observando o comportamento da temperatura diária do ar no ano de 2006, 2005 (Figuras 4.10 e 4.11), 2004 e 2003 (Figuras 1 e 2 do Apêndice D), na região de Goiânia, os valores mais elevados das temperaturas máximas diárias parecem acontecer com maior frequência no período de agosto a outubro, sendo que o mesmo comportamento acontece para as temperaturas médias. As temperaturas diárias do ar foram fornecidas pela Escola de Agronomia da UFG medida na Estação Evaporimétrica de Primeira Classe (SILVA, S. *et al.*, 2003, 2004, 2005, 2006).

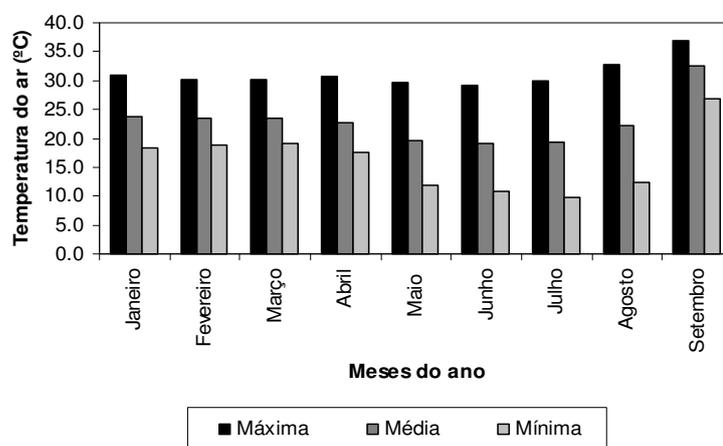


Figura 4.10– Temperatura mensal média, máxima e mínima do ar no período de janeiro a agosto de 2006.

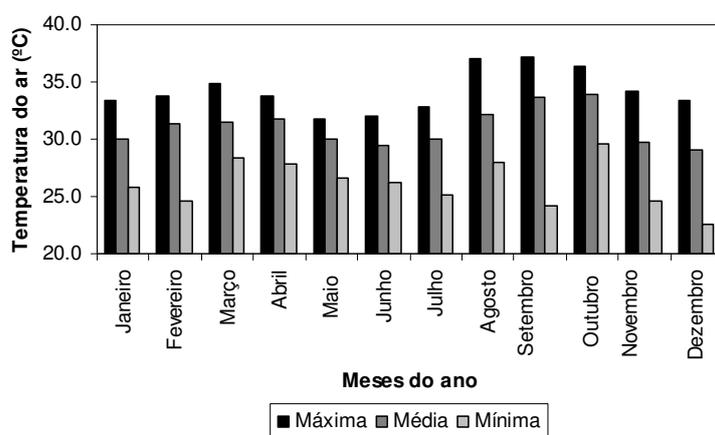


Figura 4.11 – Temperatura mensal média, máxima e mínima do ar no ano de 2005.

Durante o período de realização dos experimentos, a menor amplitude (6,6 °C) entre os

valores médios diários das temperaturas máximas e mínimas, ocorreu no dia 15 de março, quando o céu estava encoberto, e a maior amplitude ($22\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi no dia 29 de maio, quando o céu estava claro (Figura 4.12).

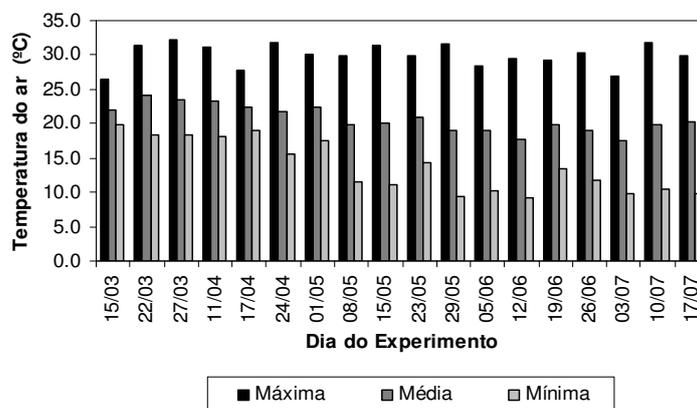


Figura 4.12 – Temperatura média, máxima e mínima do ar nos dias dos experimentos.

As temperaturas mais elevadas do ar, assim com a da água nas garrafas, no período de exposição das 9:00 às 15:00 horas, foram alcançadas nos dias de menor nebulosidade, conforme demonstrado na Figura 4.13. A temperatura média do ar foi sempre menor do que a temperatura média da água nas garrafas transparentes, no tempo de exposição correspondente (Figura 4.14). À distância entre os valores médios das duas curvas apresentadas na Figura 4.14 tende a diminuir proporcionalmente com o aumento da nebulosidade. A temperatura horária do ar, no tempo de exposição, foi medida com o termômetro de mercúrio de máxima e mínima.

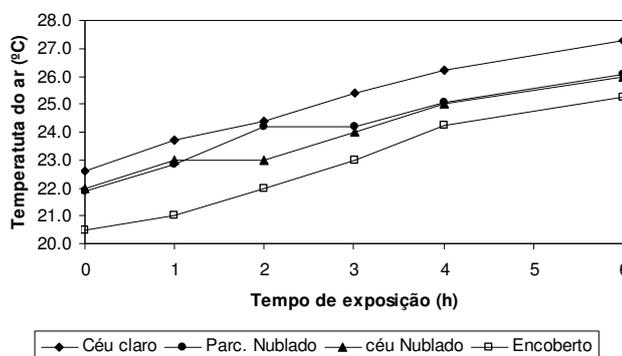


Figura 4.13 – Comportamento da temperatura média horária do ar durante os experimentos, para as diferentes condições de nebulosidade.

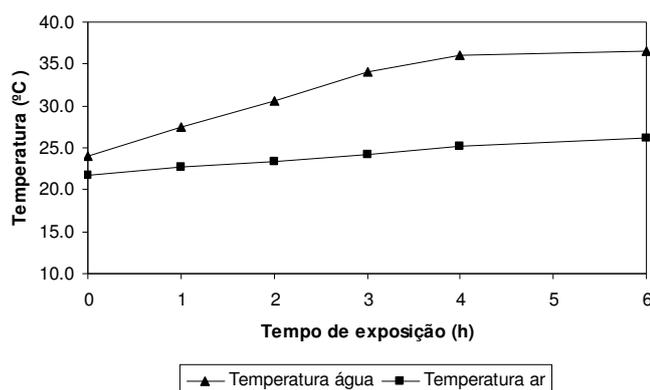


Figura 4.14 – Comportamento da temperatura média horária da água nas garrafas transparentes sem concentrador solar e do ar, durante os experimentos, para as diferentes condições de nebulosidade.

4.5 Inativação da *E. Coli* e dos Coliformes Totais e Intensidade da R-UVA

Os valores de R-UVA, mais o decrescimento e o crescimento da *E. coli* e coliformes totais, nos diferentes intervalos de tempo de exposição ao sol, são tratados neste item.

Como descrito no item 3.5, a água bruta do poço raso foi preparada e inoculada com *E. coli*. A água bruta do poço raso, antes da inoculação, apresentou uma quantidade pouco expressiva de *E. coli*, em média 5,2 NMP/100mL. Quanto aos coliformes totais, este número foi mais representativo, em média 7×10^4 NMP/100mL, indicando a importância de se desinfetar a água do poço raso de uma residência familiar antes de seu consumo. As concentrações de *E. coli* e coliformes totais, em todos os tempos de exposição, encontram-se no Apêndice A.

Nos experimentos realizados com garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas condições de céu encoberto a inativação média da *E. coli* foi aproximadamente 4-Log com 6 horas de exposição (Figura 4.15) e temperatura média da água de 28,2 °C, no tempo de exposição, para o céu nublado a inativação média da *E. coli* foi aproximadamente 4-Log com 4 horas de exposição (Figura 4.16) e temperatura média da água de 39,5 °C, no tempo de exposição. Para o céu encoberto e nublado, a inativação média da *E. coli* nas garrafas de controle e nas garrafas pretas atingiu o valor máximo aproximado de 2-Log (Figuras 4.15 e 4.16).

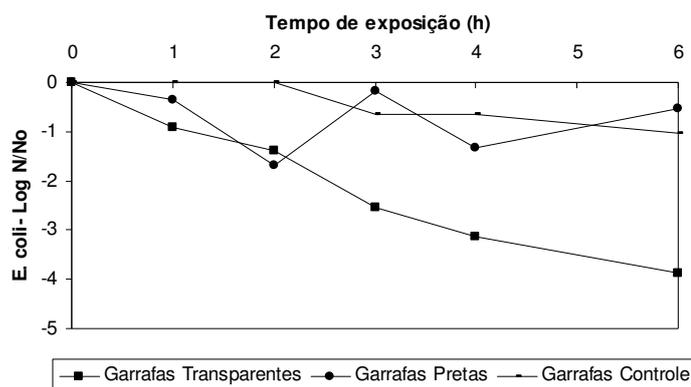


Figura 4.15 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 17-abr., 15-mar. e 03-jul. Céu encoberto. $N_{0\text{médio}} = 1,5 \times 10^8$ NMP/100mL

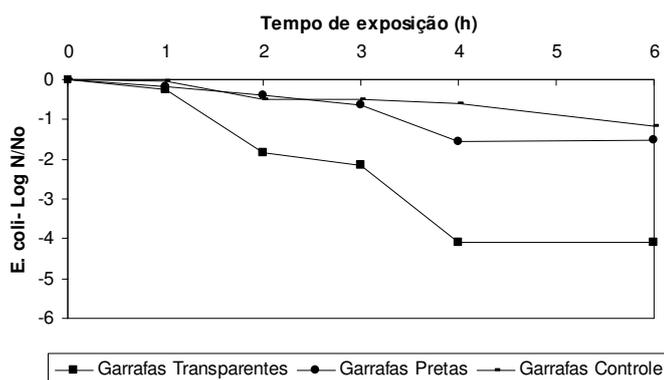


Figura 4.16 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 22-mar., 27-mar. e 01-mai. Céu nublado. $N_{0\text{médio}} = 1,8 \times 10^7$ NMP/100mL

Para os dias de céu parcialmente nublado a inativação média da *E. coli* nas garrafas transparentes sem o concentrador solar foi aproximadamente 6-Log com tempo de exposição de 4 horas e temperatura média da água de 38,6 °C, no tempo de exposição (Figura 4.17). Para as mesmas condições de nebulosidade, a concentração média da *E. coli* para as garrafas de controle e para as garrafas pretas manteve-se praticamente constante (Figura 4.17).

Para os dias de céu claro a inativação média da *E. coli* nas garrafas transparentes sem o concentrador solar foi aproximadamente 7-Log com 4 horas de exposição e temperatura média da água de 40,9 °C, no tempo de exposição, e para as garrafas pretas e garrafas de controle a

concentração média de *E. coli* manteve-se praticamente constante, sendo que a inativação média máxima foi aproximadamente de 1-Log (Figura 4.18).

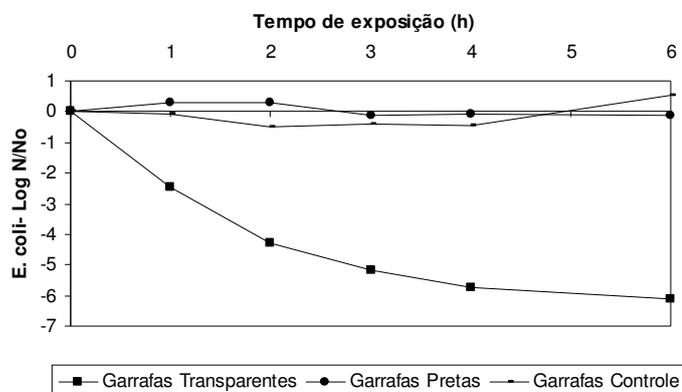


Figura 4.17 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 11-abr., 08-15-23-maio, 12-19-26-jun., 17-jul. Céu parcialmente nublado. $N_{0\text{médio}} = 6,8 \times 10^7$ NMP/100mL

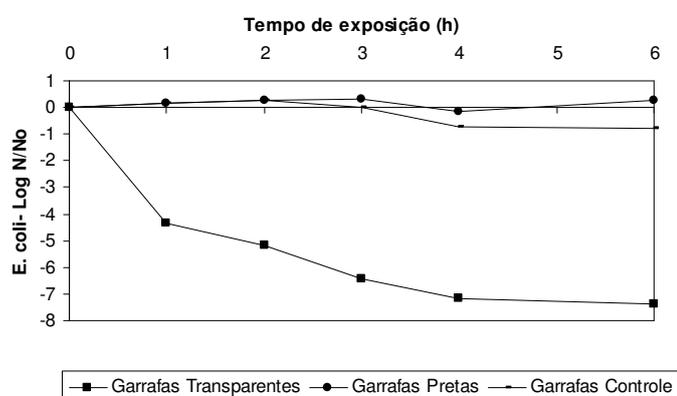


Figura 4.18 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem o concentrador solar, nas garrafas pretas e nas garrafas de controle. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul, com céu claro. $N_{0\text{médio}} = 1,7 \times 10^8$ NMP/100mL

A inativação média de coliformes totais nas garrafas transparentes sem o concentrador solar para o céu encoberto foi aproximadamente 4-Log com 6 horas de exposição, para o céu nublado foi aproximadamente 3-Log com 6 horas de exposição e para o céu parcialmente nublado foi aproximadamente 6-Log com 6 horas de exposição (Apêndice A). Para qualquer condição de nebulosidade nas garrafas de controle e nas garrafas pretas a inativação média

máxima dos coliformes totais foi aproximadamente 1-Log (Apêndice A).

As concentrações médias de *E. coli* e coliformes totais apresentaram uma pequena variação nas garrafas pretas e nas garrafas de controle, para todos os experimentos e em qualquer condição de nebulosidade do céu durante o período de 6 horas do experimento, sendo que o aumento ou decréscimo máximo ocorrido na concentração de *E. coli* e coliformes totais para estas garrafas foi 2-Log (Figuras 4.15 a 4.18 e Apêndice A). Resultados similares foram encontrados por Domingues *et al.* (2006) que nas garrafas totalmente pintadas de preto, nos melhores resultados, obtiveram a redução de duas unidades logarítmicas depois de seis horas de exposição.

O baixo decréscimo da *E. coli* ocorrido nas garrafas pretas (Figura 4.15 a 4.18) não pode ser atribuído somente à temperatura da água, uma vez que as bactérias do grupo coliforme quando expostas a condições adversas ao seu meio natural apresentam um decaimento natural. Porém, pode-se afirmar que a temperatura média diária da água de 37,2 °C e a máxima de 51,5 °C atuando sozinha, nas condições de estudo apresentadas, não produziu efeito significativo (\leq 2-Log) no decaimento bacteriano.

A pequena variação na concentração bacteriana das garrafas de controle (Figuras 4.15 a 4.18), demonstrou que a uma temperatura constante de aproximadamente 21 °C, a concentração bacteriana tende a manter-se constante, servindo de parâmetro comparativo para as garrafas expostas ao sol, que por influências externas, como por exemplo à radiação solar, tiveram um decréscimo bacteriano significativo.

Para os experimentos realizados com garrafas transparentes com concentrador solar em dias de céu encoberto a inativação média da *E. coli* foi aproximadamente 7-Log com 6 horas de exposição, e temperatura média da água de 30 °C, no tempo de exposição (Figura 4.19), para os dias parcialmente nublados a inativação média foi aproximadamente 7-Log com 4 horas de exposição, e temperatura média da água de 41,3 °C, no tempo de exposição (Figura 4.20).

A inativação média dos coliformes totais, nas garrafas transparentes com concentrador solar, para o céu encoberto e parcialmente nublado foi aproximadamente 7-Log com 6 horas de exposição (Apêndice A).

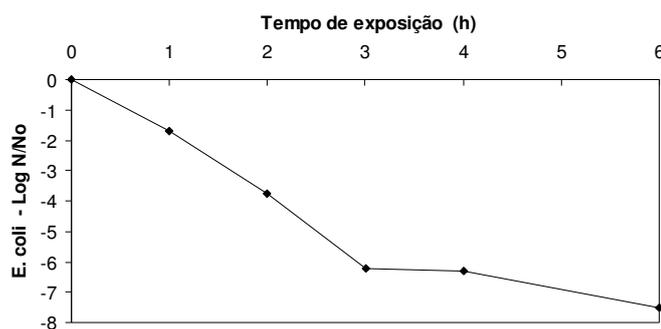


Figura 4.19 – Eficiência da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento do dia 03-jul. Céu encoberto. $N_{0\text{médio}} = 4,3 \times 10^8$ NMP/100mL

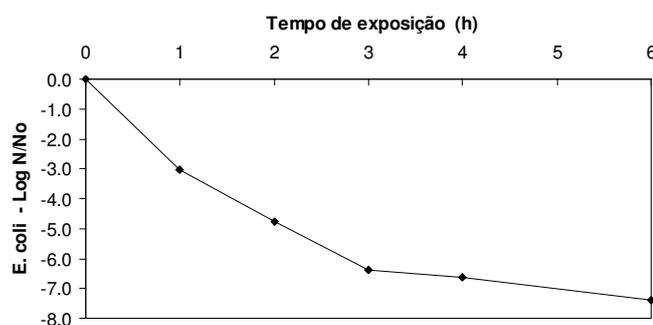


Figura 4.20 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com o concentrador solar. Experimento dos dias 12-jun., 19-jun., 26-jun. e 17-jul. Céu parcialmente nublado. $N_{0\text{médio}} = 1,2 \times 10^8$ NMP/100mL

Para as garrafas transparentes sem concentrador solar nos dias de céu claro, a inativação média da *E. coli* foi aproximadamente 7-Log com 4 horas de exposição, temperatura média da água de 40,9 °C, no tempo de exposição, e intensidade média de R-UVA de 246,6 Wh/m² (Figura 4.21). Os valores horários da R-UVA para os dias de céu claro constam no Apêndice A.

Para as garrafas transparentes sem concentrador solar para os dias de céu claro, a inativação média dos coliformes totais foi aproximadamente 6-Log com 6 horas de exposição, temperatura média da água de 41,3 °C, no tempo de exposição, e intensidade média de R-UVA de 357,6 Wh/m² (Figura 4.22).

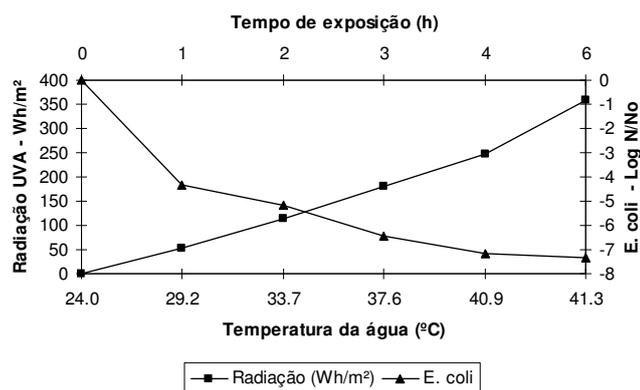


Figura 4.21 – Valores médios da eficiência da inativação da *E. coli* e da intensidade da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $N_{0\text{médio}} = 1,7 \times 10^8$ NMP/100mL

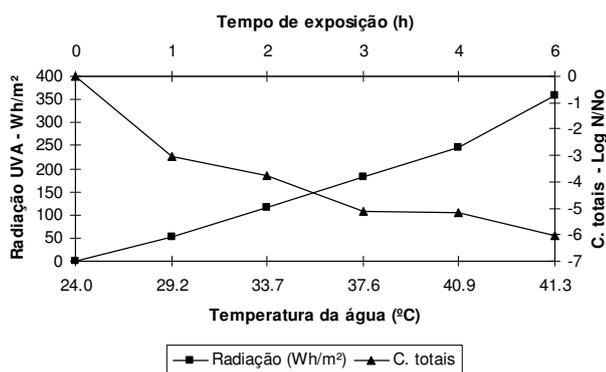


Figura 4.22 – Valores médios da eficiência da inativação dos coliformes totais e da intensidade da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes sem concentrador solar. Experimento dos dias 24-abr., 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $N_{0\text{médio}} = 3,3 \times 10^8$ NMP/100mL

Para as garrafas transparentes com concentrador solar a inativação média da *E. coli*, nos dias de céu claro, foi aproximadamente 8-Log com 4 horas de exposição, temperatura média da água de 44 °C, no tempo de exposição, e R-UVA média de 246,5 Wh/m² (Figura 4.23). Já para os coliformes totais a inativação média foi aproximadamente 8-Log com 6 horas de exposição, temperatura média da água de 44,2 °C, no tempo de exposição, e R-UVA média de 357,8 Wh/m² (Figura 4.24).

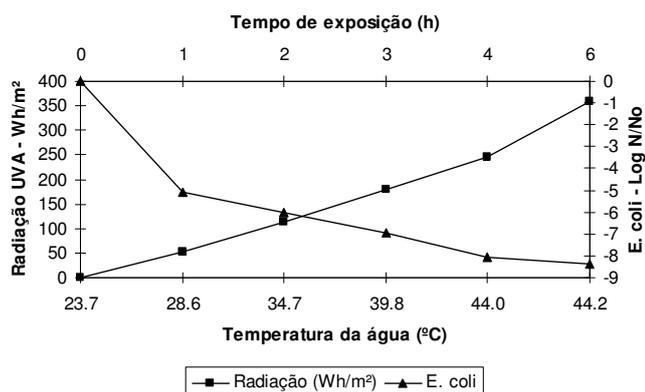


Figura 4.23 – Valores médios da eficiência da inativação da *E. coli* e da intensidade de R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento dos dias 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $N_{0\text{médio}} = 2,3 \times 10^8$ NMP/100mL

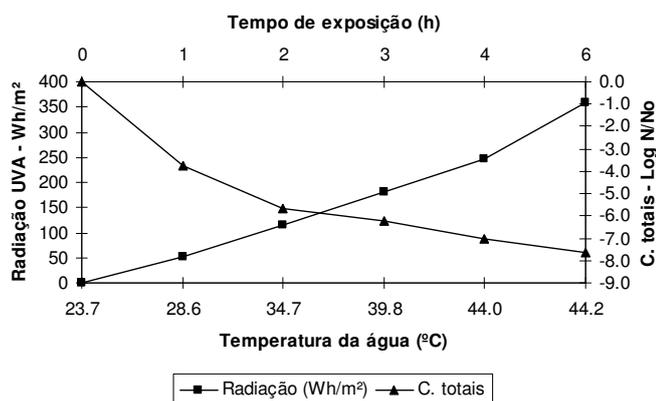


Figura 4.24 – Valores médios da eficiência da inativação dos coliformes totais e da R-UVA em função da temperatura média da água e do tempo de exposição nas garrafas transparentes com concentrador solar. Experimento dos dias 29-maio, 05-jun. e 10-jul. Céu claro. $N_{0\text{médio}} = 4,0 \times 10^8$ NMP/100mL

Para as mesmas condições de estudo, as garrafas transparentes com concentrador solar alcançaram a mesma inativação das garrafas transparentes sem concentrador solar, com 2 a 4 horas de antecedência (Figuras 4.25 a 4.27 e Figuras 1 a 16 do Apêndice E), portanto o uso do concentrador solar reduziu o tempo de exposição das garrafas entorno de 2 a 4 horas de exposição. Resultado similar foi encontrado por Silva, M. (2004) que registrou que o concentrador solar reduziu o tempo de exposição de 6 para 4 horas.

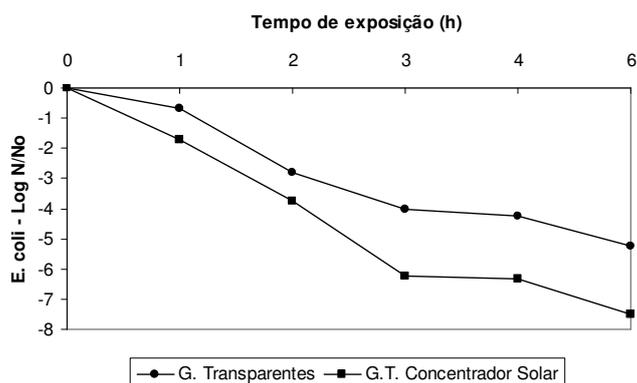


Figura 4.25 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimento do dia 03-jul. Céu encoberto. $N_{0\text{médio}} = 4,3 \times 10^8$ NMP/100mL

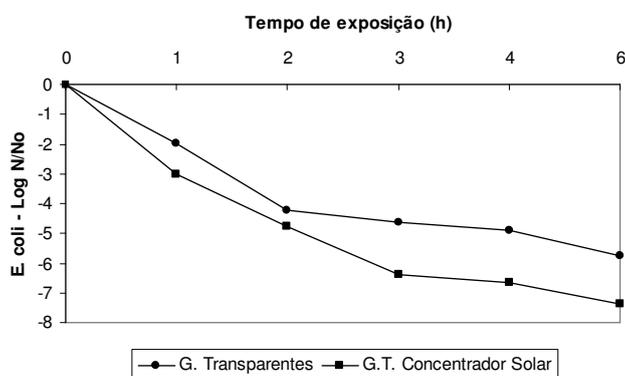


Figura 4.26 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimentos dos dias 12-19-26-jun. e 17-jul. Céu parcialmente nublado. $N_{0\text{médio}} = 1,2 \times 10^8$ NMP/100mL

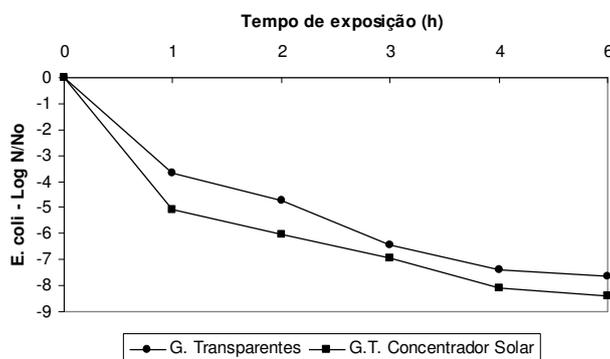


Figura 4.27 – Eficiência média da inativação da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar. Experimentos dos dias 29-maio, 05-jun., 10-jul. Céu claro. $N_{0\text{médio}} = 2,3 \times 10^8$ NMP/100mL

A inativação da *E. coli* nas amostras de água das garrafas transparentes sem o concentrador solar, para os dias de céu claro e com 3 horas de exposição, foi igual ou superior a 5-Log (Fig. 4.18), e para os dias de céu parcialmente nublado o mesmo resultado foi alcançado na maioria das amostras -75% (Apêndice A). Estes resultados são similares aos encontrados por Brandão *et al.* (2000) que conseguiram inativação completa para altas concentrações de *E. coli* (10^5 NMP/100 mL) com 3 horas de exposição e céu parcialmente nublado.

Para os dias de céu claro, 100% das amostras das garrafas transparentes com concentrador solar alcançaram inativação total da *E. coli*, contra 66,6 % das garrafas transparentes sem o uso do concentrador solar. Para os coliformes totais apenas 66,6 % das garrafas transparentes com concentrador solar alcançaram inativação total e nenhuma garrafa sem concentrador solar obteve inativação total (Apêndice A). Estes resultados confirmam que o concentrador solar aumenta a eficiência da inativação.

Os melhores resultados de inativação nas garrafas transparentes foram obtidos para os dias sem nuvens (céu claro), onde a inativação média da *E. coli* foi 7-Log com 4 horas de exposição, enquanto para os dias parcialmente nublados a inativação média foi 6-Log com 4 horas de exposição. Nas garrafas transparentes com concentrador solar para os dias de céu claro a inativação média foi 8-Log com 4 horas de exposição, enquanto para os dias parcialmente nublados a inativação média foi 7-Log com 6 horas de exposição, confirmando assim as informações da literatura que a presença de nuvens reduz a eficiência da desinfecção solar (SOMMER *et al.*, 1997; ACRA *et al.* 1984; SILVA, M. 2004). Os resultados de inativação da *E. coli* e coliformes totais para todas as condições de nebulosidade estão no Quadro 4.3.

Para a maioria dos experimentos, utilizando as garrafas transparentes com e sem concentrador, a inativação dos coliformes totais foi menor do que a inativação da *E. coli* (Apêndice A), confirmando o registro da literatura que afirma que a *E. coli* é mais sensível a radiação solar do que os coliformes totais (ACRA *et al.*, 1990; 2004; BRANDÃO *et al.*, 2000; HERRERA ; DOMINGUES, 2003; SILVA, M. 2004).

Wegelin *et al.* (1994) e Sommer *et al.* (1997) observaram o efeito sinérgico da radiação solar e da temperatura para as amostras com temperatura acima de 50 °C. Neste trabalho com o uso das garrafas totalmente pintadas de preto, pode-se observar que a temperatura média diária da água de 37,2 °C atuando sozinha não produziu efeito significativo no decrescimento bacteriano (< 2-Log). É necessário antes, investigar o efeito isolado das componentes da radiação solar sobre a inativação, para poder verificar o efeito sinérgico da temperatura e da radiação solar. Sugere-se então, que neste estudo a inativação bacteriana da

água acondicionada nas garrafas PET ocorreu devido aos efeitos da radiação solar ou devido ao efeito sinérgico da radiação solar e da temperatura.

Quadro 4.3 – Inativação média da *E. coli* e dos coliformes totais e tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar, nas diferentes condições de nebulosidade.

Condições de nebulosidade	Garrafas Transparentes				G. T. com concentrador solar			
	<i>E. coli</i>		Coliformes totais		<i>E. coli</i>		Coliformes totais	
	Log (N/No)	horas	Log (N/No)	horas	Log (N/No)	horas	Log (N/No)	horas
Encoberto	4	6	4	6	7	6	7	6
Nublado	4	4	3	6	NA	NA	NA	NA
Parcialmente nublado	6	4	6	6	7	4	7	6
Claro	7	4	6	6	8	4	8	6

Nota: NA = Não avaliado.

4.6 Comportamento da Radiação Solar Total

Os valores médios horários da radiação solar total estão apresentados nas Figuras 4.28, 4.29, 4.30 e 4.31, para o céu encoberto, nublado, parcialmente nublado e claro respectivamente. Os dados da radiação solar total dos dias dos experimentos (2006) foram fornecidos pelo INMET. As intensidades de radiação solar total constam no Apêndice F.

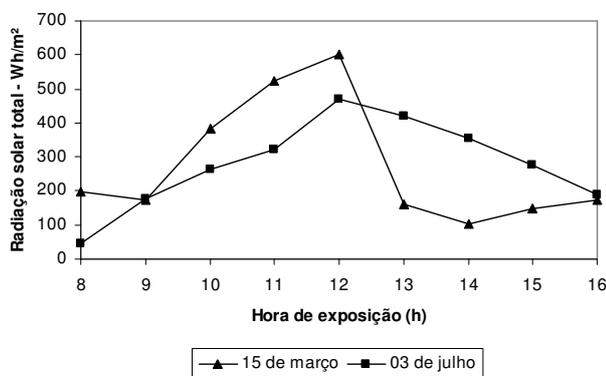


Figura 4.28 – Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m²) para os dias de experimento com céu encoberto.

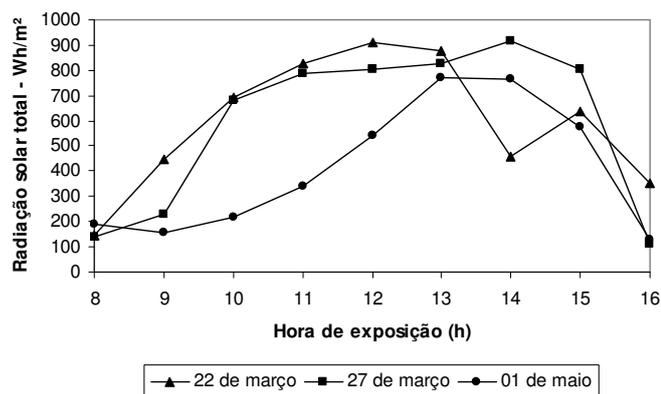


Figura 4.29 – Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m^2) para os dias de experimento com céu nublado.

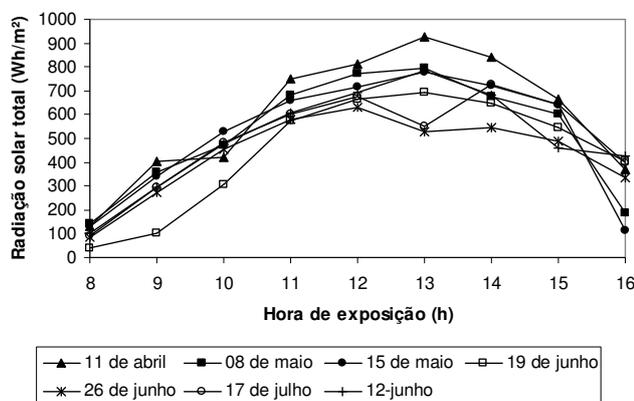


Figura 4.30 – Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m^2) para os dias de experimento com céu parcialmente nublado.

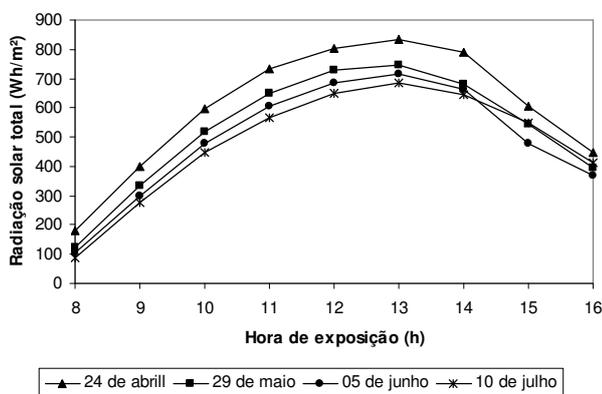


Figura 4.31 – Intensidade média horária da Radiação solar total (Wh/m^2) para os dias do experimento com céu claro.

Os resultados mostram que a incidência da radiação solar total em dias de céu claro segue uma curva característica (Figura 4.31). Por outro lado, os dias de céu encoberto mostraram uma incidência de radiação solar total sensivelmente atenuada (Figura 4.28), enquanto que para os dias de céu nublado e parcialmente nublado a radiação solar total apresenta comportamento mais disperso (Figura 4.29 e 4.30). Portanto, os dias sem nuvens apresentam menor variabilidade na intensidade de radiação solar do que os dias com nuvens, confirmando o registro da literatura técnica (SODIS, 2006g; SILVA, M. 2004).

Observando a curva da radiação solar total para os dias de céu claro verifica-se que a radiação solar total aumenta até as 13:00 horas, a partir daí começa a decrescer (Figura 4.31). Os maiores valores de radiação solar total, no geral, estão compreendidos entre as 12:00 horas e 14:00 horas (Figuras 4.28 a 4.31), demonstrando assim, que para alcançar maior eficiência na SODIS o período de exposição à radiação solar deverá abranger estes horários.

A constatação prática da maior eficiência da SODIS, ocorrida nos dias de céu claro, revela que os níveis de incidência de R-UVA são muito dependentes da ausência de nuvens, conforme sugerido também por outros autores (SODIS, 2006f; SOMMER *et al.*, 1997; SILVA, M. 2004; ACRA *et al.*, 1984).

Observando a variação anual da intensidade de radiação solar total diária em Goiânia no ano de 2004 (Figura 4.32) e 2005 (Figura 4.33), fornecidos pelo SISMEGO, pode-se verificar que os valores de irradiação dos períodos de maio a julho estão dentre as menores médias, o que está de acordo com os dados de irradiação solar na região Centro-oeste (1995 - 1998), demonstrados no Atlas de Irradiação Solar do Brasil (INMET, 1998). Pode-se prever assim, que também para o período de maio a julho de 2006, quando foi realizada a maior parte (66%) dos experimentos deste estudo, ocorreram as menores médias diárias de radiação solar total no ano.

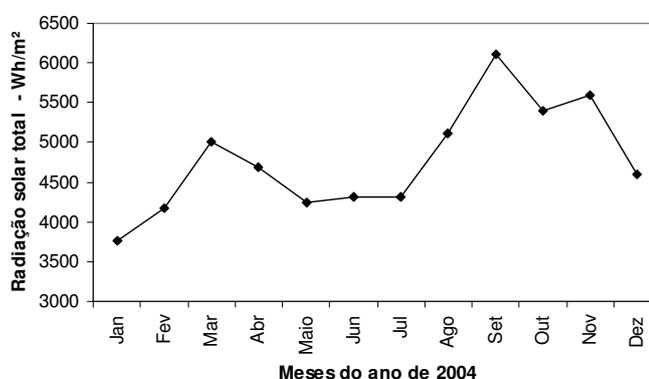


Figura 4.32 – Valores diários médios da intensidade da Radiação solar total (Wh/m²) para os meses do ano de 2004.

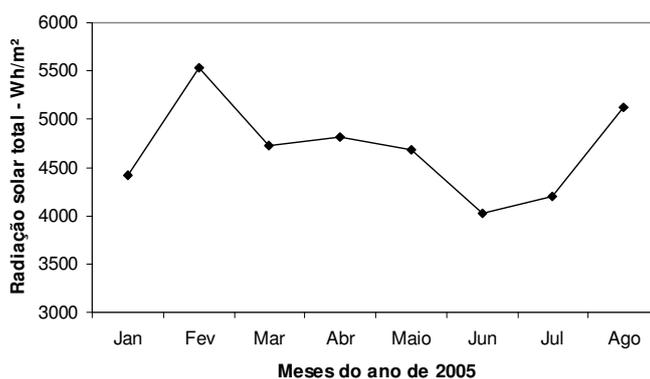


Figura 4.33 – Valores diários médios da intensidade da Radiação solar total (Wh/m²) para os meses do ano de 2005.

4.7 Identificação dos Microrganismos Resistentes a SODIS

Para as amostras da água deste estudo que após a exposição à radiação solar não tiveram inativação total dos microrganismos, foram realizadas as identificações dos microrganismos resistentes. Os resultados estão apresentados nos itens 4.6.1 e 4.6.2 seguintes:

4.7.1 Coloração de Gram

Os resultados da coloração de Gram de cada lâmina estão apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Concentração inicial e final da *E. coli* e coliformes totais nas amostras e sua caracterização por meio do método de coloração.

Amostra	Concentração de <i>E. coli</i> (NMP/100mL)		Concentração de Coliformes totais (NMP/100mL)		Bacilo Gram Positivo (Curto)	Bacilo Gram Positivo (Longo)	Bacilo Gram Negativo (Curto)	Cocos Gram Positivo
	Inicial	Final	Inicial	Final				
A	$5,4 \times 10^7$	$1,5 \times 10^2$	$2,1 \times 10^8$	$2,4 \times 10^2$	Lâminas 12 e 13	Lâmina 11	N.I.	N.I.
B	$4,4 \times 10^7$	$7,5 \times 10^1$	$1,2 \times 10^8$	$9,6 \times 10^2$	Lâminas 2, 3, 4, 6	Lâminas 1 e 5	N.I.	N.I.
C	$4,4 \times 10^8$	$2,4 \times 10^2$	$4,4 \times 10^8$	$2,4 \times 10^2$	Lâminas 2, 4 e 6	N.I.	Lâminas 1 e 3	Lâminas 5

Nota: As características das amostras A, B e C estão no Quadro 3.3, no Item 3.10.; N.I. = Não identificado.

As amostras A e B são originárias dos experimentos realizados em dias com o céu parcialmente nublado, e a amostra C é originária do experimento realizado em dia de céu encoberto. Pode-se verificar no Quadro 4.4, a partir das concentrações iniciais e finais da *E. coli* e dos coliformes totais que em nenhuma das amostras (A, B, e C) houve inativação total. Na amostra A não foi possível caracterizar morfologicamente as colônias das lâminas de 1 a 10.

4.7.2 Kit de Identificação dos Microrganismos

A partir dos resultados obtidos na coloração do Gram (Quadro 4.4) foram selecionadas cinco amostras para identificação dos microrganismos: a) Lâmina B5; b) Lâmina B6; c) Lâmina C2; d) Lâmina C5; e) Lâmina C6. A identificação dos microrganismos realizada por meio do kit BBL CRYSTAL Gram Positivo, conforme descrito no item 3.10, apresentou os resultados demonstrados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Microrganismos identificados nas amostras de água após a Desinfecção Solar.

Lâmina selecionada para identificação do microrganismo	Microrganismo identificado	Nível de confiança do resultado (%)
Lâmina B5 – Bacilo Gram Positivo (longo)	<i>Bacillus megaterium</i>	99,97
Lâmina B6 – Bacilo Gram Positivo (curto)	<i>Bacillus subtilis</i>	99,98
Lâmina C2 – Bacilo Gram Positivo (curto)	<i>Bacillus subtilis</i>	99,97
Lâmina C5 - Cocos Gram Positivo	<i>Micrococcus luteus</i>	87,72
Lâmina C6 – Bacilo Gram positivo (curto)	<i>Corynebacterium propinquum</i>	74,72

A identificação nas amostras de água de microrganismos como os *Bacillus* que são formadores de esporos, e que por isso possuem capacidade de se proteger das condições adversas, indicam a resistência deste tipo de organismos à SODIS. Jorgensen *et al.* (1998) em seus estudos registraram que o *Bacillus subtilis* pode contaminar alimentos e produzir esporos que sobrevivam à fervura da água. A identificação de bactérias do gênero *Corynebacterium*, que são saprófitas do solo e da água e que podem ser patógenos ao homem e ao animal (PELCZAR *et al.*, 1996) e do *Micrococcus lúteos*, que também é um saprófito encontrado no solo, na água,

no ar, na pele e superfícies mucosas do corpo humano, e que embora não seja patogênico é registrado como um contaminante (MADIGAN e MARTINKO, 2005), indica a resistência destes microrganismos a SODIS.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados dos experimentos desenvolvidos neste trabalho sobre SODIS, permitiu concluir que:

1. O concentrador solar tende a aumentar a temperatura diária da água nas garrafas transparentes, em média 1,8 °C para os dias de céu claro e parcialmente nublado, enquanto que para os dias de céu encoberto não houve diferença significativa na temperatura.
2. As temperaturas médias da água nas garrafas para qualquer tempo de exposição ($t > 1$ hora), no geral, foram maiores para os dias de menor nebulosidade, indicando que mais nuvens no céu podem resultar em menores temperaturas da água.
3. Uma melhor previsibilidade do comportamento da temperatura da água e da radiação solar é possível para os dias com menor nebulosidade (céu claro e parcialmente nublado) do que para os dias com maior nebulosidade (céu encoberto e nublado).
4. O concentrador solar reduziu o tempo de inativação nas garrafas transparentes de 2 a 4 horas, para a mesma eficiência de inativação.
5. O concentrador solar aumentou a eficiência da inativação, uma vez que para os dias de céu claro 100% das amostras das garrafas transparentes com concentrador solar alcançaram inativação total de *E. coli*, enquanto apenas 66,6 % das amostras das garrafas transparentes sem o uso do concentrador solar alcançaram inativação total.
6. A SODIS foi capaz de promover inativação bacteriana na água até para os dias de céu encoberto e nublado, onde a inativação média da *E. coli* nas garrafas transparentes sem o concentrador solar foi aproximadamente 4-Log com 6 horas de exposição para os dias de céu encoberto, e para os dias de céu nublado alcançou a mesma inativação com 4 horas de exposição. Este resultado indica que a desinfecção solar utilizando garrafas PET poderá ser um método alternativo para desinfetar a água para consumo humano na região de Goiás, para qualquer condição de nebulosidade, desde que a concentração de *E. coli* seja igual ou inferior a 10^4 NMP/100 mL, os valores de turbidez e cor aparente sejam iguais ou inferiores a 2 UT

(Unidade de turbidez) e 40 UC (Unidade de cor), e o tempo de exposição à radiação solar seja no mínimo de 6 horas.

7. Os melhores resultados de inativação foram obtidos para os dias de céu claro, onde a inativação média de *E. coli* das garrafas transparentes sem o concentrador solar foi aproximadamente 7-Log com 4 horas de exposição, para o céu parcialmente nublado foi aproximadamente 6-Log com 4 horas de exposição, para o céu nublado foi aproximadamente 4-Log com 4 horas de exposição e para o céu encoberto foi aproximadamente 4-Log com 6 horas de exposição, portanto houve uma constatação prática de que a presença de nuvens reduz a eficiência da SODIS.

8. Para os dias de céu claro as amostras de água das garrafas transparentes com concentrador solar, expostas à intensidade média de radiação de 246,5 Wh/m² (320-400 nm), alcançaram inativação média da *E. coli* de aproximadamente 8-Log com 4 horas de exposição, e temperatura média da água de 44 °C, no tempo de exposição. Para o mesmo nível de radiação, as garrafas transparentes sem o concentrador solar alcançaram a inativação média de aproximadamente 7-Log com 4 horas de exposição e temperatura média da água de 40,9 °C, no tempo de exposição.

9. A temperatura média diária da água de 37,2 °C atuando sozinha não produziu efeito significativo no decrescimento bacteriano (< 2-Log). Sugere-se que neste estudo a inativação bacteriana da água, acondicionada nas garrafas PET, ocorreu devido ao efeito da radiação solar ou devido ao efeito sinérgico da radiação solar e da temperatura.

10. Para algumas amostras da água deste estudo que não foram totalmente inativadas, foram identificados os microrganismos resistentes a SODIS, dentre eles os *Bacillus subtilis*, *Bacillus Megaterium*, formadores de esporos, e *Micrococcus luteus*, *Corynebacterium propinquum*, que podem ser patógenos ao homem e contaminar os alimentos.

6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A presente pesquisa, realizada no período de março a julho do ano de 2006, no qual os valores de radiação solar total estão dentre as menores médias mensais para a região de Goiânia, conforme dados fornecidos pelo SISMEGO E INMET, mostrou a eficiência da inativação bacteriana nas condições de estudo para este período do ano. A realização da pesquisa nesta época do ano foi importante do ponto de vista de que é necessário avaliar a SODIS para todos os meses do ano, inclusive os de menor radiação solar total. A elevada concentração bacteriana inicial e a inativação registrada nos tempos de exposição, para as diferentes condições de nebulosidade, demonstraram o potencial deste método como alternativa para tratamento de água de abastecimento para unidades familiares. Porém é necessário que sejam feitos mais estudos para dar suporte aos já realizados e que este método seja investigado em áreas não estudadas, assim para os futuros trabalhos recomenda-se o seguinte:

1. Estudar outros microrganismos patogênicos mais resistentes à desinfecção, como por exemplo o *Clostridium perfringens* que é esporogênico, uma vez que neste estudo foram encontrados organismos formadores de esporos na água após a desinfecção solar. Payment e Franco (1993) em suas pesquisas estudaram a eficiência do *Clostridium perfringens* como indicador da eficiência do tratamento da água de abastecimento.
2. Estudos realizados por Reed *et al.* (2000) demonstraram que as bactérias coliformes fecais foram inativadas pela oxigenação (foto-oxidação), alcançada pela vigorosa agitação da água nos recipientes seguidas de exposição à luz solar, por isso sugerimos aprofundar os estudos da influência da concentração do oxigênio dissolvido no processo de SODIS.
3. Dados solarimétricos sobre sítios do território brasileiro são escassos, deixando como alternativa a estimação de valores possíveis. Portanto, recomenda-se a criação de um programa extensivo para conhecimento do potencial e das possibilidades de utilização dos recursos de radiação solar incidente no Brasil, pois assim poderão ser obtidos valores com maior precisão de R-UVA incidentes nos locais dos experimentos.
4. No presente estudo, verificou-se que o modelo do concentrador solar utilizado no experimento sombreava as garrafas na primeira hora do experimento, por isso sugere-se estudar

um modelo de concentrador solar (inclinação das aletas), que melhor se adapte as condições climáticas da cada região.

5. O potencial do recrescimento bacteriano tem sido estudado nas águas expostas a radiação solar (HERRERA; DOMINGUES, 2003; SOMMER *et al.*, 1997), portanto sugere-se verificar o efeito residual da SODIS nas condições de estudo deste experimento e então, determinar o tempo máximo de conservação da água que mantém as características microbiológicas da água desinfetada.

6. Avaliar a variação na intensidade de radiação solar recebida pelas garrafas dentro do concentrador solar, pois segundo Herrera e Domingues (2003) as garrafas à direita e a esquerda no concentrador recebiam mais radiação que a garrafa central, isto devido à sombra que as garrafas laterais faziam na garrafa central quando a radiação era refletida nas paredes laterais.

7. Avaliar a transmitância da R-UVA e da luz violeta para várias marcas de garrafas PET usadas como recipientes de refrigerantes e água, para determinar a variabilidade da transmitância da R-UVA nestas garrafas, e assim escolher os melhores recipientes para acondicionar a água a ser exposta a radiação solar.

8. Neste estudo verificou-se que não houve inativação bacteriana completa para os dias de céu encoberto e nublado, portanto recomenda-se fazer um estudo na região de Goiânia para determinar o tempo necessário de exposição para inativação completa da água em dias com céu encoberto e nublado, considerando que o SODIS (2006f) recomenda expor as garrafas à radiação solar por dois dias consecutivos, para os dias com presença de nuvens em pelos menos 50% do período.

9. Wegelin *et al.* (1994) e Sommer *et al.* (1997) observaram o efeito sinérgico da radiação solar e da temperatura para as amostras com temperatura da água acima de 50 °C. Neste trabalho, observou que a temperatura média da água de 37,2 °C sozinha não produziu efeito significativo no decrescimento bacteriano (< 2-Log). É necessário antes, investigar o efeito isolado da R-UVA sobre a inativação, para poder verificar o efeito sinérgico da temperatura e da radiação solar, para isso recomenda-se fazer um trabalho onde a temperatura é mantida constante nas amostras expostas a radiação solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. *Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydratoin Solutions*. Paris: Unicef. 1984.

ACRA, A. *et al.* *Water Disinfection by Solar Radiation – Assessment and Application. Technical Study 66e*. Canadá: 1990.

AGUIAR, A. M. S. *et al.* Avaliação do Emprego da Radiação Ultravioleta na Desinfecção de Águas com Turbidez e Cor Moderadas. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.7, n.1, 2002.

APHA, AWWA, WEF; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20 ed. Washington D. C., 1998.

BRANDÃO, C. C. S. *et al.* Avaliação da Desinfecção Solar na Região Centro-Oeste do Brasil Usando Diferentes Organismos Indicadores de Contaminação. *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. *Norma de qualidade da água de consumo*. Diário Oficial da União, Brasília 26 de março de 2004.

BURCH, J; THOMAS, K. Water Disinfection form Developing Countries and Potential for Solar Thermal Pasteurization. *Solar Energy*, p.87-97, 1998.

CALKINS, J.; BARCELO, J. A. Somer Further Considerations on the Use of Repair-Defective Organisms as Biological Dosimeters for Broad-be Ultraviolet Radiation Sources. *Photochemistry Photobiology*, v.30, p. 733-737, 1974.

CASLAKE, L. F., *et al.* Disinfection of Contaminated Water by Solar Irradiation. *Applied Environmental Microbiology*, v.70, n. 2, p.1145-1150, 2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Clostridium Perfringens* -

Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos. Método de Ensaio – L5/213. CETESB. São Paulo, 1993.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/htmldocs/radiacao/fluxos/radsat.htm>> Acesso em: ago. 2006.

CONROY, R. M. *et al.* Solar Disinfection of Water Reduces Diarrhoeal Disease: an update. *Archives of Disease in Childhood*, n.81, p. 337–338, 1999.

CONROY, R. M. *et al.* Solar Disinfection of Drinking Water Protects Against Cholera in Children Under 6 Years of Age. *Archives of Disease in Childhood*, n.85, p. 293 – 295, 2001.

CORRÊA, M. P. Algoritmos para Cálculos de Transferência Radiativa na Região Ultravioleta do Espectro Eletromagnético. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Fortaleza, 2004.

_____. *Índice ultravioleta : avaliações e aplicações*. 2003. p. 247. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2003.

DANIEL, L. A. (Coord.). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. Rio de Janeiro: Rima, ABES 2001.

DEININGER, R. A. *et al.* Desinfección Del Agua com Ozono. In: *Simpósio Regional sobre Calidad del agua: desinfección efectiva*. Lima, Peru. 1998.

DOMÍNGUES, A. M.; HERRERA, A. G.; ESTRADA, C. A.; Desinfección de Agua Mediante El Uso de Concentradores Solares de Paredes Reflejantes. In: *Memorias Taller Nacional Preparatorio al IV Foro Mundial del Agua – La Innovación Científica y Tecnológica para Enfrentar los Retos en Materia de Agua em México*, México, 2006, p. 5-12.

FAIR, G. M.; GEYER, J.C.; OKUN, D. A. *Water e Wastewater Engineering*. v.2, 2 ed., NewYork: John Willey and Sons, 1968.

FERREIRA, A. B. H. *Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa/Aurélio Buarque de Holanda Ferreira* – 3 ed. totalmente revista e ampliada – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

GRABOW, W. O. K. Pathogenic organisms and indicators of faecal pollution. In: *Seminário Internacional de Desinfecção de água de abastecimento e residuárias em países em desenvolvimento*, Minas Gerais: ABES, 1993.

HERRERA, A. G.; DOMINGUES, M. Desinfección Solar, Una Alternativa para Pequeñas Comunidades Rurales. *Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua*. México, 2003. Disponível em: <<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda>>. Acesso em: ago. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Distritos, total e abastecidos, com tratamento da água, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões, Unid. de Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais, 2000. Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/estatística/população/condiçãodevida/pnsb/abastecimento_agua_abagu_a12.shtm>. Acesso em: ago. 2005.

IDEXX, Laboratories. Water Microbiology. Disponível em: <<http://www.idexx.com/water/>> Acesso em: 08 de out. 2006.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. *Atlas de Irradiação solar no Brasil: 1ª Versão para Irradiação Global derivada de Satélite e validada na superfície*. Brasília- DF, 1998.

IMAI, M. *Instruções de Uso: BBL Crystal Gram Positive Kit*. Bencton Dickinson and Company. São Paulo-SP. Versão: 1996.

JOYCE, T.M. *et al.* Inactivation of Fecal Bacteria in Drinking Water by Solar Heating. *Applied an Environmental Microbiology*, v.62, n. 2, p. 399–402, 1996.

JORGENSEN, A. J. F. *et al.* Decontamination of Drinking Water by Direct Heating in Solar Panels. *Journal of Applied Microbiology*, v.85, p. 441-447, 1998.

KAUFMAN, A. *et al.* *Water Treatment Modeling for Developing Communities*. A Report

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for SYDE 461. University de Waterloo-Faculty of Engineering, Canadá, 2003.

KEHOE S. C. *et al.* Effect of Agitation, Turbidity, Aluminum Foil Reflectors and Volume on Inactivation Efficiency of Batch-Process Solar Disinfectors. *Water Research*, v.35, n.4, p.1061 – 1065, 2001.

LAURENT, P. *Household Drinking Water Systems and Their Impact on People With Weakened Immunity*. MSF-Holland: Public Health Department, 2005.

MACÊDO, J. A. B. Determinação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento Público e Indústria de Alimentos. 1997. 90p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimento) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1997.

MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; *Brock Biology of Microorganisms*, 2 ed., Prentice Hall: 2005.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. Levantamento dos Recursos de Energia Solar no Brasil com o emprego de Satélite Geoestacionário – O Projeto Swera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.26, n.2, p. 145–159, 2004.

McGUIGAN, K.; JOYCE, T.; CONROY, R. Solar Disinfection: Use of Sunlight to Decontaminate Drinking Water in Developing Countries. *Journal of Medical Microbiology*, v.48, n.9, p. 785-787, 1999.

MORRIS, J. C.; *Aqueous chlorine in the treatment of water supplies*. Cambridge: Harvard University, 1985.

MONTEIRO, P. C. G. *Viabilidade do uso da radiação solar no processo de desinfecção da água*. 1999. p. 159. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UNB, DF, 1999.

OATES, P. M.; SHANAHAN, P.; POLZ, M. F. Solar Disinfection (SODIS): Simulation of Solar Radiation for Global Assessment and Application for Point-of-Use Water Treatment in

Haiti. *Water Research*. v. 37, p. 47-54, 2003.

PAYMENT, P.; FRANCO, E. Clostridium Perfringens and Somatic Coliphages as Indicators of the Efficiency of Drinking Water Treatment for Viruses and Protozoan Cysts. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 59, n. 8, p. 2418-2424, 1993.

PELCZAR Jr., M. J; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. *Microbiologia: Conceitos e Aplicações*. 2 ed. v. 1. São Paulo: Markon Books, 1996.

REED, R. H.; MANI S.K.; MEYER, V. Solar photo-oxidative disinfection of drinking water: preliminary field observations. *Applied Microbiology*, v.30, p. 432-436, 2000.

REIFF, M. F.; WITT, V. *Manual de desinfección: Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano em pueblos pequeños y comunidades rurales em América Latina y el Caribe*. OMS/OPAS, 1995.

RIJAL, G.; FUJIOKA, R. Synergistic effect of solar radiation and solar heating to disinfect drinking water sources. *Water Scientific Technologic*, v.43, n.12, p. 155-162, 2001.

RODJKO, C. *Solar Disinfection of Drinking Water*. 2003. p.75. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Faculdade de Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, Estados Unidos, 2003.

ROSSIN, A. C. *Desinfecção*. In: Técnica de abastecimento e tratamento de água. 2. ed. São Paulo, CETESB, p. 883-929, 1976.

SCHILLINGS, C. *et al*. In: *World Renewable Energy Congress and Expo*. Colônia, Alemanha, 2002.

SILVA, M. J. M. *Desinfecção de Água Utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e recrescimento bacteriano*. 2004. p. 68. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

SILVA, S. M.; SILVA, J. B.; COSTA, P. J. Boletim Meteorológico de Janeiro a Dezembro de

2003. Estação Evaporimétrica de Primeira Classe, Setor de Engenharia Rural – Escola de Agronomia – UFG – Goiânia, 2003.

_____. Boletim Metereológico de Janeiro a Dezembro de 2004. Estação Evaporimétrica de Primeira Classe, Setor de Engenharia Rural – Escola de Agronomia – UFG – Goiânia, 2004.

_____. Boletim Metereológico de Janeiro a Dezembro de 2005. Estação Evaporimétrica de Primeira Classe, Setor de Engenharia Rural – Escola de Agronomia – UFG – Goiânia, 2005.

_____. Boletim Metereológico de Janeiro a Setembro de 2006. Estação Evaporimétrica de Primeira Classe, Setor de Engenharia Rural – Escola de Agronomia – UFG – Goiânia, 2006.

SODIS, Solar Water Disinfection. *Water Quality Improvement at Household level. The sodis network in latin América.* 2002. Disponível em: <<http://www.sodis.ch/text2002/Projects/FundacionSODIS.pdf>>. Acesso em: 08 de mar. 2005.

SODIS; Technical Note #9. *Sodis Efficiency: The Process.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006a.

_____. Technical Note #2. *Material: Plastic Versus Glass Bottles.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006b.

_____. Technical Note #8. *Water Quality: Oxygen Concentration.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006c.

_____. Technical Note #13. *SODIS use: Application Procedure.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006d.

_____. Technical Note #15. *SODIS use: Acceptance.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006e.

_____. Technical Note #11. *SODIS Efficiency: Covered Sky Conditions.* Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006f.

_____. Technical Note #6. *Climatic Conditions: Seasonal Effects and Weather Changes*. Disponível em: <<http://www.sodis.ch>>. Acesso em: 3 ago. 2006g.

SOMMER, B. *et al.*; An Emerging Water Treatment Process. *Journal of Water Supply Research y Technology* – AGUA, v.46, n.3 p.127-137, 1997.

SPERLING, V. M. *Introdução á Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

STANIER, R. Y; DOUDOROFF, M.; ADELBERG, E.A. The microbial world. New Jersey, Prentice-Hall. Disinfection. *In: Water treatment principles and design*, v.2. p. 262-283, New York: Wiley-Interscience Publication, 1963.

UTERMÖHL, V. Étude Statistique des Methodes de Dénombrement Planctonique. *Archaeological Sciences*, v.17, n.2, p. 121 – 223, 1964.

WEGELIN, M. *et al.* Solar Water Disinfection: scope on the process and analysis of radiation experiments. *Journal of American Water Works Association*, v. 43, n.3, p.154-169, 1994.

WEGELIN, M.; AHMED, R.; AHMED, N. Progress in Solar Water Disinfection (SODIS). *In: 24th WEDC Conference, Sanitation and Water For All*. Islamabad, Pakistan, 1998.

WEGELIN, M. *et al.* Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (PET) bottles? *Journal of Water Supply Research and Technology*, 2000.

WEGELIN, M.; MEIERHOFER, R. *Desinfecção solar da água: Guia de aplicações do SODIS*. Instituto Federal Suíço de Ciências e Tecnologia Aquática – EAWAG. Departamento de Saneamento e água para países em desenvolvimento – SANDEC, Dubendorf, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. v.2, 2^a ed., World Health Organization, Geneva, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. v.1, 3^a

ed., World Health Organization, Geneva, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2004. Water, Sanitation and Hygiene links to health Facts and Figures, 2004. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/en/> Acesso em: 02 de abr. 2005.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. Desinfección de água por médio de luz ultravioleta. In: *Simpósio Regional sobre Calidad Del Água: Desinfección Efectiva*, p. 1-28, Peru, 1998.

APÊNDICE – A

Resultado da inativação da *E. coli* e coliformes totais em NMP/100mL e Log N/No, valores da R-UVA para os dias de céu claro, e temperatura da água nas garrafas.

15 de Março de 2006												
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas					
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D	
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	
0	NA	24.0	1.25E+07	0	3.78E+07	0	NA	NA	NA	NA	NA	
1	NA	26.0	1.00E+06	-1	5.10E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
2	NA	27.8	1.16E+07	0	3.53E+07	0	NA	NA	NA	NA	NA	
3	NA	28.9	1.50E+06	-1	4.25E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
4	NA	26.3	4.70E+06	0	7.95E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
6	NA	24.1	5.15E+05	-1	4.90E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
22 de Março de 2006												
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas					
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D	
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	
0	NA	23.8	7.30E+06	0	9.35E+07	0	NA	NA	NA	NA	NA	
1	NA	28.9	1.00E+00	-7	3.05E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
2	NA	32.5	1.00E+00	-7	8.50E+06	-1	NA	NA	NA	NA	NA	
3	NA	37.3	1.00E+00	-7	1.01E+06	-2	NA	NA	NA	NA	NA	
4	NA	35.2	1.00E+00	-7	1.80E+06	-2	NA	NA	NA	NA	NA	
6	NA	35.6	1.00E+00	-7	1.23E+05	-3	NA	NA	NA	NA	NA	
27 de Março de 2006												
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas					
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D	
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	
0	NA	24.5	3.65E+07	0	2.16E+08	0	24.5	3.65E+07	0	2.16E+08	0	
1	NA	28.7	1.02E+07	-1	5.10E+07	-1	31.4	1.02E+07	-1	5.10E+07	-1	
2	NA	30.0	1.03E+07	-1	7.90E+07	0	33.0	1.03E+07	-1	7.90E+07	0	
3	NA	38.0	3.80E+06	-1	3.60E+07	-1	43.5	3.80E+06	-1	3.60E+07	-1	
4	NA	40.0	2.60E+04	-3	2.33E+06	-2	45.0	2.60E+04	-3	2.33E+06	-2	
6	NA	40.5	1.64E+05	-2	2.40E+07	-1	45.0	1.64E+05	-2	2.40E+07	-1	
11 de abril de 2006												
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas					
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D	
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	
0	NA	25.0	1.00E+06	0	4.70E+06	0	25.0	1.00E+06	0	4.70E+06	0	
1	NA	29.0	9.70E+04	-1	2.31E+05	-1	31.5	2.55E+06	0	4.10E+06	0	
2	NA	32.5	1.00E+04	-2	1.00E+04	-3	36.5	5.20E+06	1	8.60E+06	0	
3	NA	36.0	3.71E+01	-4	7.07E+02	-4	42.0	2.05E+06	0	3.65E+06	0	
4	NA	38.5	2.50E-01	-7	2.57E+02	-4	46.0	1.00E+06	0	1.00E+06	-1	
6	NA	42.5	1.00E+00	-6	4.65E+00	-6	48.5	7.94E+07	2	1.21E+06	-1	
17 de abril de 2006												
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas					
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D	
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	
0	NA	25.0	4.95E+06	0	6.04E+07	0	25.0	4.95E+06	0	6.04E+07	0	
1	NA	25.0	5.10E+05	-1	1.05E+07	-1	25.0	2.20E+06	0	1.83E+07	-1	
2	NA	24.0	2.60E+05	-1	2.41E+07	0	25.0	1.00E+05	-2	2.67E+07	0	
3	NA	25.0	1.00E+04	-3	5.20E+06	-1	25.5	3.34E+06	0	3.55E+07	0	
4	NA	27.0	1.00E+02	-5	4.10E+02	-5	29.5	2.36E+05	-1	2.42E+07	0	
6	NA	30.5	5.49E+01	-5	1.70E+03	-5	37.0	1.50E+06	-1	2.42E+08	1	

Nota: onde consta 1.00E+00 leia-se 0,00.

NA = Valor não avaliado

24 de abril de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas				
		T�gua (�C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	T�gua (�C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	0.00	25.0	2.90E+06	0	1.40E+08	0	25.0	2.90E+06	0	1.40E+08	0
1	53.136	29.8	1.00E+00	-6	6.30E+04	-3	35.3	4.05E+06	0	1.83E+08	0
2	115.099	34.9	1.00E+00	-6	2.17E+04	-4	43.3	5.20E+06	0	8.79E+07	0
3	181.337	38.0	1.00E+00	-6	1.53E+03	-5	47.0	6.25E+06	0	5.76E+07	0
4	246.918	41.5	1.00E+00	-6	1.17E+03	-5	51.0	2.00E+06	0	8.84E+07	0
6	357.117	42.5	1.00E+00	-6	2.70E+01	-7	51.5	5.10E+06	0	5.12E+07	0
01 de maio de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas				
		T�gua (�C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	T�gua (�C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	24.0	9.10E+06	0	1.21E+08	0	24.0	9.10E+06	0	1.21E+08	0
1	NA	25.0	1.13E+07	0	8.25E+07	0	26.5	1.50E+07	0	7.83E+07	0
2	NA	26.3	6.70E+03	-3	2.00E+06	-2	30.0	5.75E+06	0	3.07E+08	0
3	NA	29.0	4.60E+03	-3	5.50E+04	-3	34.3	4.55E+06	0	2.23E+08	0
4	NA	35.0	7.99E+01	-5	1.20E+05	-3	43.0	1.04E+07	0	1.62E+08	0
6	NA	38.5	1.39E+01	-6	4.02E+03	-4	46.5	2.00E+06	-1	7.85E+06	-1
08 de maio de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas				
		T�gua (�C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	T�gua (�C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	23.5	1.20E+06	0	1.43E+07	0	23.5	1.20E+06	0	1.43E+07	0
1	NA	27.8	5.05E+02	-3	3.47E+03	-4	32.5	2.66E+07	1	2.42E+08	1
2	NA	31.8	2.70E+01	-5	6.10E+02	-4	39.5	1.55E+07	1	1.91E+08	1
3	NA	35.8	1.23E+01	-5	2.42E+03	-4	44.8	5.70E+06	1	1.56E+08	1
4	NA	38.5	1.00E+00	-6	1.38E+03	-4	48.3	8.04E+06	1	1.79E+08	1
6	NA	38.3	1.00E+00	-6	3.20E+02	-5	44.3	4.10E+04	-1	1.71E+07	0
15 de maio de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas				
		T�gua (�C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	T�gua (�C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	24.0	4.06E+07	0	5.79E+08	0	24.0	4.06E+07	0	5.79E+08	0
1	NA	28.5	1.32E+03	-4	2.89E+08	0	34.5	1.10E+07	-1	3.57E+08	0
2	NA	34.0	1.34E+02	-5	4.04E+03	-5	40.0	7.08E+06	-1	3.72E+08	0
3	NA	38.0	1.06E+01	-7	2.42E+03	-5	45.0	8.54E+05	-2	2.28E+08	0
4	NA	40.5	1.00E+00	-8	2.42E+03	-5	48.0	1.00E+06	-2	2.42E+07	-1
6	NA	36.5	1.00E+00	-8	1.20E+03	-6	40.0	1.13E+06	-2	2.16E+06	-2
23 de maio de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes					Garrafas Pretas				
		T�gua (�C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	T�gua (�C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	24.0	6.20E+06	0	2.13E+08	0	24.0	6.20E+06	0	2.13E+08	0
1	NA	28.5	8.31E+03	-3	6.13E+05	-3	34.0	7.50E+06	0	2.30E+08	0
2	NA	33.0	2.51E+01	-5	3.66E+03	-5	39.5	8.40E+06	0	3.26E+08	0
3	NA	36.0	1.00E+00	-7	2.42E+03	-5	42.5	9.34E+06	0	4.35E+08	0
4	NA	39.0	1.03E+01	-6	2.42E+03	-5	47.0	1.64E+07	0	5.79E+08	0
6	NA	35.0	3.10E+00	-6	3.56E+02	-6	40.0	2.33E+07	1	6.49E+08	0

Nota: onde consta 1.00E+00 leia-se 0,00.

NA = Valor n o avaliado

29 de maio de 2006											
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)
0	0.00	23.0	1.41E+08	0	2.42E+08	0	23.0	1.41E+08	0	1.41E+08	0.0
1	52.78027	29.0	7.24E+03	-4	3.10E+04	-4	27.5	1.71E+03	-5	1.71E+03	-4.0
2	114.5725	33.0	3.70E+03	-5	6.82E+04	-4	33.5	1.59E+01	-7	1.59E+01	-6.0
3	180.823	38.0	2.81E+01	-7	2.42E+03	-5	39.5	1.00E+00	-8	1.00E+00	-7.0
4	246.5844	41.8	1.00E+00	-8	2.42E+03	-5	45.0	1.00E+00	-8	1.00E+00	-8.2
6	357.5021	41.8	1.00E+00	-8	6.06E+02	-6	43.0	1.00E+00	-8	1.00E+00	-8.2
05 de junho de 2006											
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)
0	0.00	24.0	1.41E+08	0	3.84E+08	0	24.0	1.41E+08	0	3.84E+08	0
1	52.7354	28.0	4.64E+04	-3	2.42E+05	-3	29.5	3.87E+02	-6	1.73E+05	-3
2	114.519	32.0	1.30E+03	-5	2.42E+05	-3	34.5	5.38E+02	-5	1.01E+03	-6
3	180.7972	36.0	7.95E+00	-7	2.42E+03	-5	38.0	7.20E+01	-6	1.55E+03	-5
4	246.6183	38.5	1.00E+00	-8	2.42E+03	-5	42.0	1.00E+00	-8	2.92E+03	-5
6	357.7177	38.0	1.00E+00	-8	8.66E+02	-6	44.0	1.00E+00	-8	3.12E+02	-6
12 de junho de 2006											
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)
0	NA	23.0	1.05E+07	0	7.27E+08	0	23.0	1.05E+07	0	7.27E+08	0
1	NA	29.0	2.23E+05	-2	8.78E+05	-3	28.5	4.66E+05	-1	2.42E+06	-2
2	NA	34.0	8.76E+02	-4	6.64E+03	-5	35.0	1.05E+03	-4	1.26E+03	-6
3	NA	37.0	2.42E+03	-4	2.42E+03	-5	40.0	1.39E+01	-6	9.78E+01	-7
4	NA	40.5	1.41E+02	-5	2.42E+03	-5	45.5	4.10E+00	-6	7.35E+00	-8
6	NA	41.5	1.07E+02	-5	4.11E+02	-6	44.5	1.00E+00	-7	1.55E+00	-9
19 de junho de 2006											
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)
0	NA	24.0	5.36E+07	0	2.05E+08	0	24.0	5.36E+07	0	2.05E+08	0
1	NA	25.0	3.26E+06	-1	2.42E+07	-1	25.0	3.30E+05	-2	6.23E+05	-3
2	NA	30.0	1.36E+05	-3	2.26E+03	-5	31.0	4.62E+04	-3	2.56E+05	-3
3	NA	34.5	8.45E+02	-5	2.00E+03	-5	37.0	1.49E+02	-6	3.79E+02	-6
4	NA	36.5	2.20E+03	-4	2.42E+03	-5	39.8	1.44E+02	-6	4.20E+02	-6
6	NA	39.0	1.41E+02	-6	2.42E+03	-5	40.5	1.76E+01	-6	2.65E+01	-7
26 de junho de 2006											
Tempo	R-UVA	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua	E. coli - A	Inat. A	C. totais-B	Inat. B	Tágua	E. coli-C	Inat C	C. totais-D	Inat. D
(h)	(W.h/m ²)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)	(°C)	NMP/100ml	Log (N/No)	NMP/100ml	Log (N/No)
0	NA	24.0	4.76E+07	0	1.18E+08	0	24.0	4.37E+07	0	1.18E+08	0
1	NA	28.0	3.62E+05	-2	1.22E+07	-1	30.0	7.73E+03	-4	2.42E+05	-3
3	NA	36.5	1.23E+03	-5	2.42E+03	-5	40.0	9.80E+00	-7	1.52E+02	-6
4	NA	38.0	9.40E+02	-5	2.42E+04	-4	41.0	3.10E+00	-7	7.42E+01	-6
6	NA	39.0	7.53E+01	-6	9.56E+02	-5	41.3	5.00E-01	-8	2.55E+00	-8

Nota: onde consta 1.00E+00 leia-se 0,00.

NA = Valor não avaliado

03 de julho de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua (°C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	Tágua (°C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	23	4.35E+08	0	4.35E+08	0	23.0	4.35E+08	0	4.35E+08	0
1	NA	24	9.11E+07	-1	3.08E+07	-1	24.0	8.60E+06	-2	4.80E+07	-1
2	NA	26	6.62E+05	-3	9.49E+06	-2	26.0	7.40E+04	-4	2.26E+05	-3
3	NA	29	4.10E+04	-4	1.89E+05	-3	28.0	2.58E+02	-6	2.42E+03	-5
4	NA	30	2.42E+04	-4	2.00E+04	-4	30.0	2.07E+02	-6	2.42E+03	-5
6	NA	30	2.42E+03	-5	2.42E+03	-5	30.0	1.39E+01	-7	7.55E+01	-7

10 de julho de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua (°C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	Tágua (°C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	0.00	24.0	4.11E+08	0	5.79E+08	0	24.0	4.11E+08	0	5.97E+08	0
1	52.42813	30.0	2.82E+05	-3	1.05E+07	-2	28.8	6.21E+03	-5	6.20E+04	-4
2	114.0879	35.0	9.78E+03	-5	2.00E+04	-4	36.0	7.77E+02	-6	2.42E+03	-5
3	180.4156	38.5	2.08E+03	-5	2.42E+03	-5	42.0	1.80E+02	-6	2.65E+02	-6
4	246.4349	42.0	5.91E+02	-6	2.42E+03	-5	45.0	4.15E+00	-8	9.30E+00	-8
6	358.2148	43.0	9.48E+01	-7	3.39E+02	-6	45.5	1.00E+00	-9	1.00E+00	-9

17 de julho de 2006											
Tempo (h)	R-UVA (W.h/m ²)	Garrafas Transparentes sem Cc					GT com Concentrador Solar				
		Tágua (°C)	E. coli - A NMP/100ml	Inat. A Log (N/No)	C. totais-B NMP/100ml	Inat. B Log (N/No)	Tágua (°C)	E. coli-C NMP/100ml	Inat C Log (N/No)	C. totais-D NMP/100ml	Inat. D Log (N/No)
0	NA	24.00	3.87E+08	0	3.87E+08	0	24.0	3.87E+08	0	3.87E+08	0
1	NA	28.00	4.55E+05	-3	2.42E+07	-1	29.5	6.69E+03	-5	8.06E+04	-4
2	NA	32.25	5.20E+03	-5	1.63E+05	-3	35.5	2.50E+02	-6	1.34E+03	-5
3	NA	36.00	1.24E+03	-5	1.86E+03	-5	39.5	1.36E+01	-7	9.10E+01	-7
4	NA	37.00	7.86E+02	-6	2.42E+03	-5	39.0	1.47E+01	-7	3.31E+01	-7
6	NA	38.50	9.00E+01	-7	4.81E+02	-6	40.0	3.05E+00	-8	4.10E+00	-8

Nota: onde consta 1.00E+00 leia-se 0,00.

NA = Valor não avaliado

APÊNDICE – B

Variação da temperatura da água em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas para cada dia do experimento.

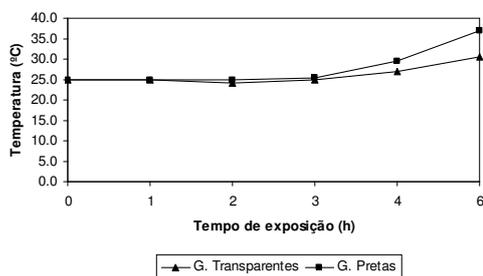


Figura 01 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 27 de março.

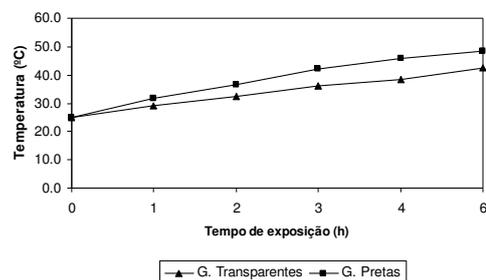


Figura 02 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 11 de abril.

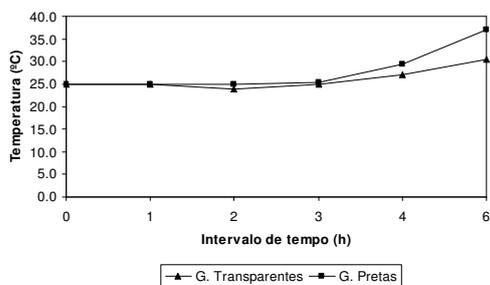


Figura 03 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 17 de abril.

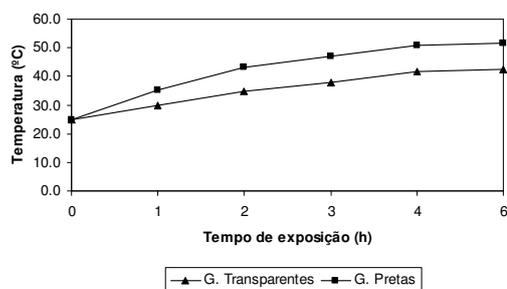


Figura 04 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 24 de abril.

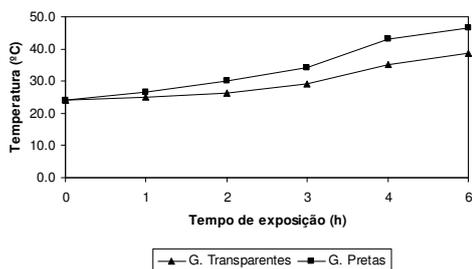


Figura 05 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 01 de maio.

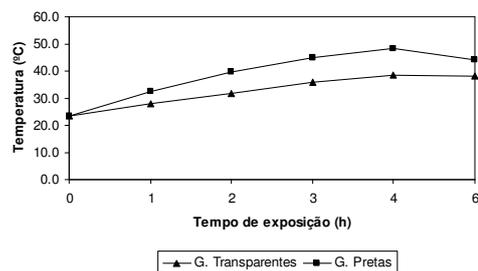


Figura 06 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 08 de maio.

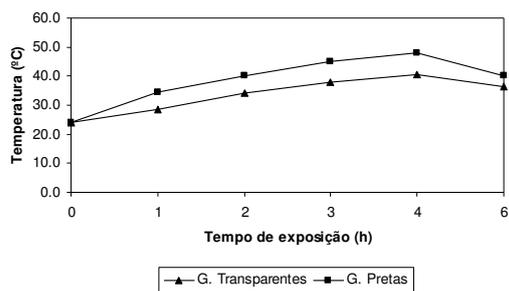


Figura 07 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 15 de maio.

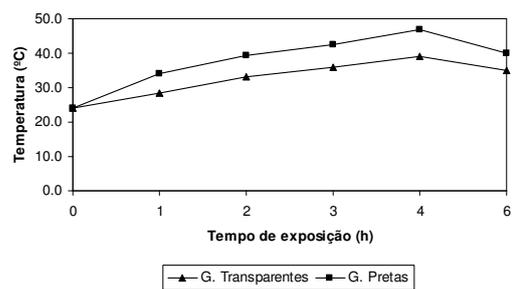


Figura 08 – Variação da temperatura da água em função do tempo nas garrafas transparentes e nas garrafas pretas. Experimento do dia 23 de maio.

APÊNDICE – C

Variação da temperatura média da água nas garrafas pretas em função do tempo de exposição, para as condições do experimento céu encoberto e nublado, e céu parcialmente nublado e claro.

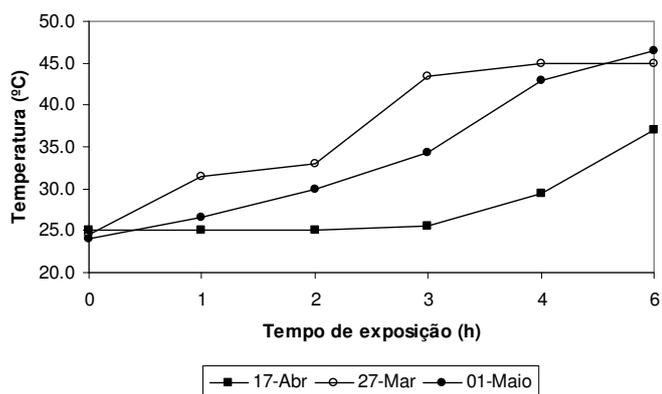


Figura 1 – Variação da temperatura média da água nas garrafas pretas em função do tempo de exposição, para os dias de céu encoberto e nublado.

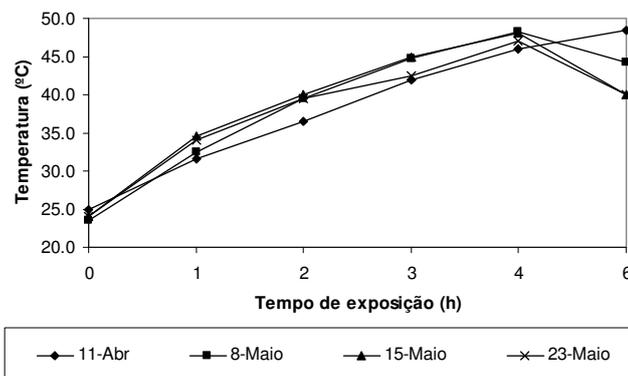


Figura 2 – Variação da temperatura média da água nas garrafas pretas em função do tempo de exposição, para os dias de céu parcialmente nublado e claro.

APÊNDICE – D

Temperatura diária média, máxima e mínima do ar no período de janeiro a dezembro do ano de 2003 e 2004.

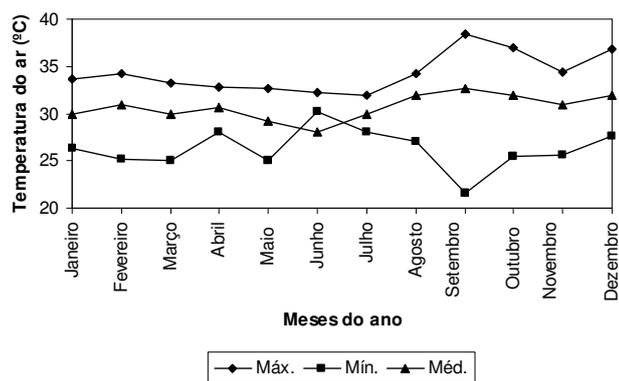


Figura 1 – Temperatura diária média, máxima e mínima do ar no período de janeiro a dezembro de 2003 (SILVA, *et al.* 2003).

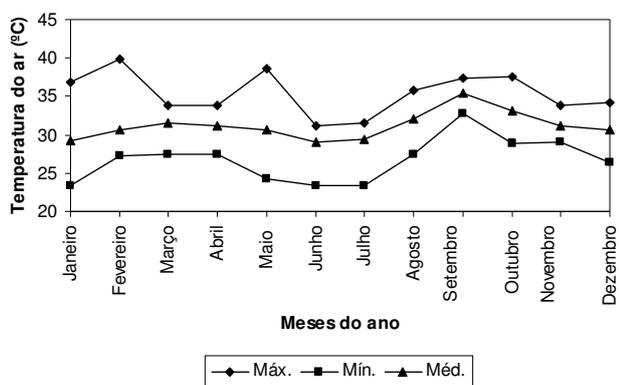


Figura 2 – Temperatura diária média, máxima e mínima do ar no período de janeiro a dezembro do ano de 2004 (SILVA, *et al.* 2004).

APÊNDICE – E

Decaimento dos coliformes totais e da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem concentrador solar, nos dias dos experimentos.

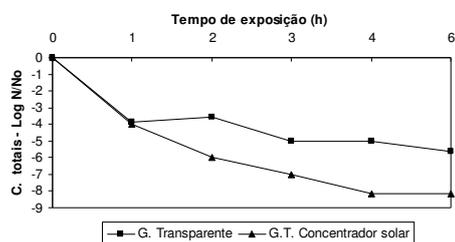


Figura 01 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição de tempo nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 29 de maio. Céu claro.

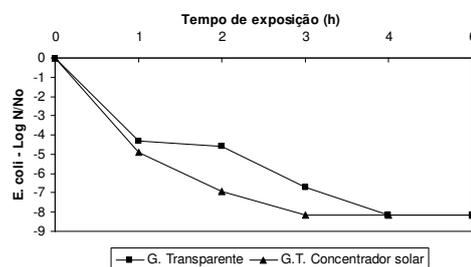


Figura 02 – Decaimento da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 29 de maio. Céu claro.

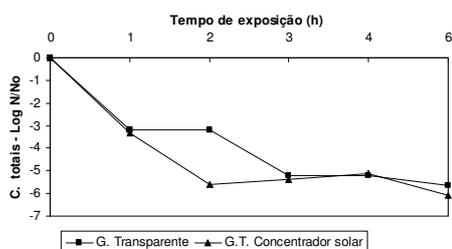


Figura 03 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 05 de junho. Céu claro.

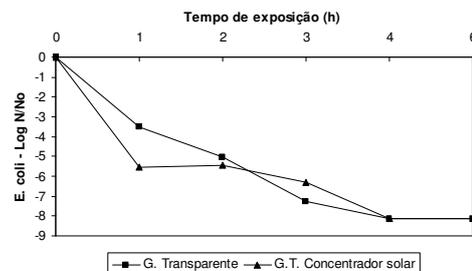


Figura 04 – Decaimento da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 05 de junho. Céu claro.

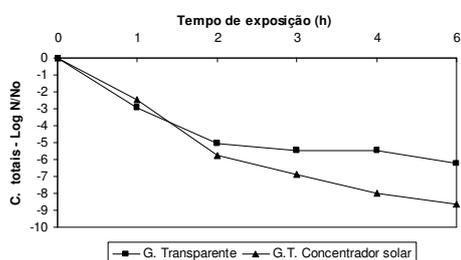


Figura 05 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 12 de junho. Céu parcialmente nublado.

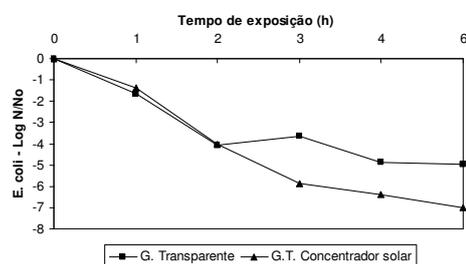


Figura 06 – Decaimento da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 12 de junho. Céu parcialmente nublado.

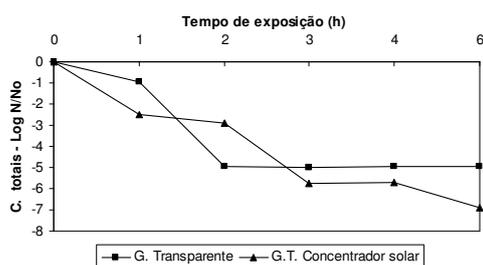


Figura 07 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 19 de junho. Céu parcialmente nublado.

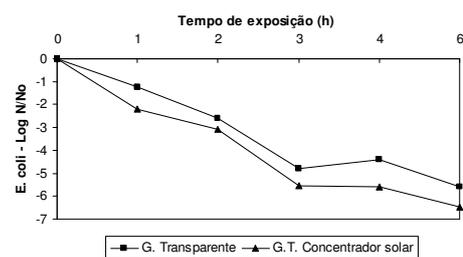


Figura 08 – Decaimento da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 19 de junho. Céu parcialmente nublado.

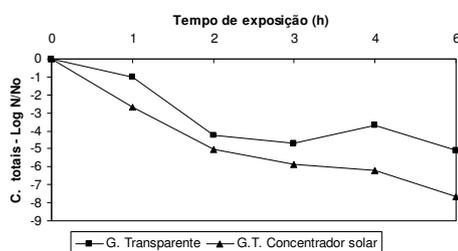


Figura 09 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 26 de junho. Céu parcialmente nublado.

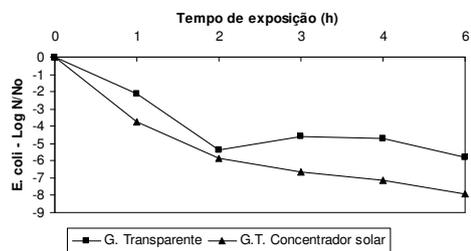


Figura 10 – Decaimento dos *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 26 de junho. Céu parcialmente nublado.

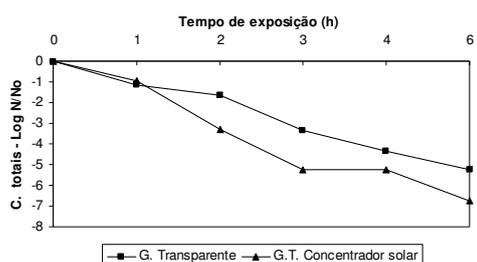


Figura 11 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 03 de julho. Céu encoberto.

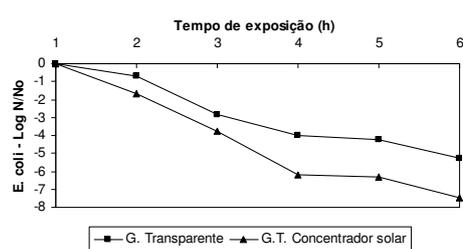


Figura 12 – Decaimento dos *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 03 de julho. Céu encoberto.

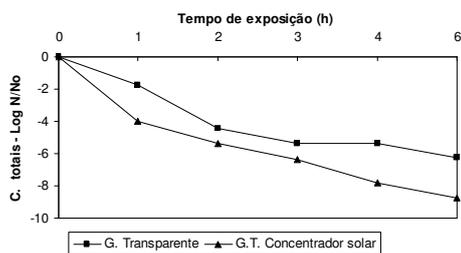


Figura 13 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 10 de julho. Céu claro.

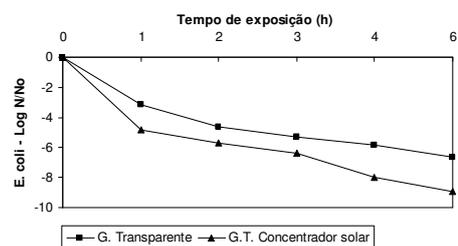


Figura 14 – Decaimento da *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 10 de julho. Céu claro.

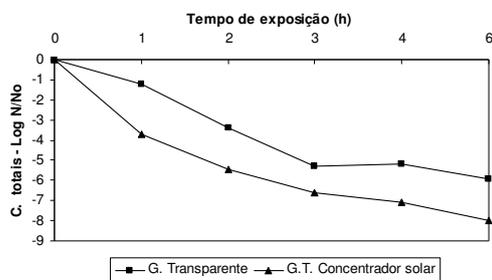


Figura 15 – Decaimento dos coliformes totais em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 17 de julho. Céu parcialmente nublado.

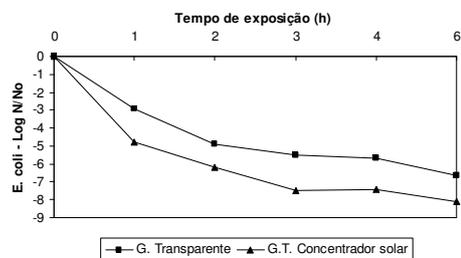


Figura 16 – Decaimento dos *E. coli* em função do tempo de exposição nas garrafas transparentes com e sem o concentrador solar. Experimento do dia 17 de julho. Céu parcialmente nublado.

APÊNDICE – F

Leituras horárias da Radiação Solar Total (Wh/m²).

Leituras Horárias da Radiação Solar Total						
Hora	15 de março	22 de março	27 de março	11 de abril	24 de abril	01 de maio
	Wh/m ²					
8	197.61	148.03	137.28	129.07	179.51	189.17
9	173.70	444.34	228.26	403.18	399.99	156.01
10	384.71	694.61	679.05	421.29	597.91	217.72
11	521.21	829.38	787.97	751.48	733.94	339.23
12	601.14	909.11	803.50	810.97	803.83	543.55
13	160.14	878.48	826.23	927.60	834.12	772.10
14	102.82	456.61	915.43	842.89	791.52	767.74
15	149.20	637.00	802.52	663.53	606.49	573.43
16	174.14	353.16	112.69	371.09	448.47	128.21
Hora	08 de maio	15 de maio	29 de maio	05 de junh	12 de junho	19 de junho
	Wh/m ²					
8	140.05	132.53	121.46	103.71	100.78	41.01
9	356.13	343.19	331.98	296.85	294.33	101.18
10	469.21	529.01	516.04	478.22	476.33	305.29
11	684.14	658.75	650.48	607.78	610.23	576.58
12	769.90	717.17	729.15	685.89	693.18	664.97
13	793.87	775.60	744.74	714.85	781.26	694.61
14	673.99	724.25	679.35	662.30	684.10	649.81
15	604.62	644.46	546.48	480.53	462.15	545.78
16	185.27	113.17	396.66	367.20	427.98	401.58
Hora	26 de junho	03 de julho	10 de julho	17 de julho		
	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²	Wh/m ²		
8	87.65	44.41	85.64	90.61		
9	273.45	175.21	276.71	296.99		
10	454.23	263.85	448.59	480.66		
11	579.25	322.00	565.03	602.28		
12	632.38	468.90	648.87	674.80		
13	528.16	421.81	686.14	551.62		
14	544.27	355.27	646.18	729.38		
15	487.86	276.27	549.01	640.73		
16	336.75	189.39	412.75	399.18		

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)